

新概念建筑结构设计丛书

**装配式混凝土结构设计
与工艺深化设计
从入门到精通**

庄伟 匡亚川 廖平平◎编著

中国建筑工业出版社

新概念建筑结构设计丛书

装配式混凝土结构与工艺 深化设计从入门到精通

庄伟 匡亚川 廖平平 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

装配式混凝土结构与工艺深化设计从入门到精通/
庄伟等编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015. 7
(新概念建筑结构设计丛书)
ISBN 978-7-112-18724-9

I. ①装… II. ①庄… III. ①装配式混凝土结构-
结构设计 IV. ①TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 275647 号

本书为《新概念建筑结构设计丛书》之一, 全书共分为 5 章。主要内容包括:
绪论; 预制预应力混凝土装配整体式框架结构设计; 装配整体式剪力墙结构设计;
预制预应力混凝土装配整体式框架结构节点做法及构件工艺深化设计原则; 装配
整体式剪力墙结构节点做法及构件工艺深化设计原则。

本书可供从事建筑结构设计之年轻结构工程师及高等院校相关专业学生参考
使用。

* * *

责任编辑: 郭 栋 辛海丽

责任设计: 董建平

责任校对: 张 颖 赵 颖

新概念建筑结构设计丛书

装配式混凝土结构与工艺深化设计从入门到精通

庄 伟 匡亚川 廖平平 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京市书林印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18½ 字数: 447 千字

2016 年 2 月第一版 2016 年 2 月第一次印刷

定价: 50.00 元

ISBN 978-7-112-18724-9
(27985)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

掌握和使用 PKPM 系列结构设计软件，是每个结构设计人员必须具备的一项技能。本书的思路是根据作者多年工作经验，通过实战的形式，详细地讲解利用 PKPM 软件进行预制预应力混凝土装配整体式框架结构设计及装配整体式剪力墙结构设计的过程，然后以这两个工程为实例，详细解析构件工艺深化设计的原则，让结构设计新手快速了解、熟悉并快速使用 PKPM 软件进行装配式结构设计，并能正确绘制构件工艺深化设计图纸，懂怎么操作，更明白其中的道理和有关要求。

本书全文由中民筑友科技集团有限公司庄伟，中南大学土木工程学院匡亚川教授及中机国际工程设计研究院有限责任公司（原机械工业第八设计研究院）廖平平编写，在书的编写过程中参考了大量的书籍、文献及所在公司的一些技术措施，在书的编辑及修改过程中，得到了中南大学土木工程学院余志武教授、卫军教授、周朝阳教授，刘小洁教授，北京市建筑设计研究院戴夫聪，华阳国际设计集团（长沙）田伟、吴应昊，中机国际工程设计研究院有限责任公司（原机械工业第八设计研究院）罗炳贵、吴建高，中国轻工业长沙工程有限公司张露、余宽，湖南省建筑设计研究院黄子瑜，广东博意建筑设计院长沙分公司黄喜新，湖南方圆建筑工程设计有限公司姜亚鹏、陈荔枝，北京清城华筑建筑设计研究院徐珂，香港邵贤伟建筑结构事务所顾问唐习龙，中科院建筑设计研究院有限公司（上海）鲁钟富，淄博格匠设计顾问公司徐传亮，广州容柏生建筑设计事务所，广州老庄结构院邓孝祥的帮助和鼓励，同行邬亮、余宏、苗峰、刘强、谢杰光、张露、彭汶、李子运、李佳瑶、姚松学、文艾、谢东江、郭枫、李伟、邱杰、杨志、苏霞、谭细生等参与了全书内容收集、编写及图片绘制，在此表示感谢。

由于作者理论水平和实践经验有限，时间紧迫，书中难免存在不足甚至是谬误之处，也恳请读者批评指正。

目 录

1 绪论	1
1.1 建筑工业化进入“高铁时代”	1
1.2 设计工厂协同发展模式构建	1
1.2.1 设计工厂协同发展模式的提出	1
1.2.2 三位一体的协同运行模式的构建	2
1.2.3 数字化技术平台助推设计工厂模式发展	2
1.3 对装配式结构设计的理解	5
1.4 对装配式结构构件工艺深化设计的理解	6
1.4.1 变形协调	7
1.4.2 概念设计思维	7
1.4.3 钢筋	7
1.4.4 混凝土	7
1.4.5 连接件	7
1.4.6 吊具	8
1.4.7 三维空间	8
1.4.8 优化设计	8
1.5 概念设计与思维	8
1.5.1 概念设计	9
1.5.2 设计思维	12
1.5.3 定性定量	17
1.6 一名结构工程师参加工作后的感悟	17
2 预制预应力混凝土装配整体式框架结构设计	18
2.1 工程概况	18
2.2 上部构件截面估算	18
2.2.1 梁	18
2.2.2 柱	19
2.2.3 板	19
2.3 荷载	28
2.3.1 恒载	28
2.3.2 活荷载	28
2.3.3 线荷载取值	31

2.3.4	施工和检修荷载及栏杆水平荷载	32
2.3.5	隔墙荷载在楼板上的等效均布荷载	32
2.4	混凝土与砌体强度等级	33
2.4.1	规范及相关计算措施规定	33
2.4.2	理论分析与经验	34
2.4.3	本工程混凝土与砌体强度等级	35
2.5	保护层厚度	35
2.5.1	规范规定	35
2.5.2	本工程构件保护层厚度取值	36
2.6	框架结构建模	37
2.7	结构计算步骤及控制点	57
2.8	SATWE 前处理、内力配筋计算	58
2.8.1	SATWE 参数设置	58
2.8.2	特殊构件补充定义	88
2.8.3	生成 SATWE 数据文件及数据检查	88
2.8.4	结构内力、配筋计算	89
2.9	SATWE 计算结果分析与调整	91
2.9.1	SATWE 计算结果分析与调整	91
2.9.2	超筋处理对策	105
2.10	上部结构施工图绘制	109
2.10.1	梁施工图绘制	109
2.10.2	板施工图绘制	122
2.10.3	柱施工图绘制	129
2.11	基础设计	134
2.11.1	基础选型方法	134
2.11.2	查看地质勘查报告	134
2.11.3	PKPM 程序操作	136
2.11.4	基础平面布置图	140
3	装配整体式剪力墙结构设计	141
3.1	工程概况	141
3.2	上部构件截面估算	141
3.2.1	梁	141
3.2.2	柱	144
3.2.3	墙	145
3.2.4	板	146
3.3	荷载	149
3.4	混凝土强度等级	149
3.5	保护层厚度	149

3.6	剪力墙布置	149
3.7	PKPM 中建模	152
3.8	结构计算步骤及控制点	156
3.9	SATWE 前处理、内力配筋计算	156
3.10	SATWE 计算结果分析与调整	156
3.10.1	墙轴压比的设计要点	156
3.10.2	周期比超限实例分析	156
3.10.3	超筋	157
3.11	“混凝土构件配筋及钢构件验算简图”转化为 DWG 图	160
3.12	上部结构施工图绘制	160
3.12.1	梁平法施工图绘制	160
3.12.2	板施工图绘制	160
3.12.3	剪力墙平法施工图绘制	161
3.13	楼梯设计	171
3.14	基础设计	173
3.14.1	人工挖孔桩布置方法	173
3.14.2	地基持力层的选取	173
3.14.3	桩基础设计	175
3.14.4	承台设计	180
3.14.5	本工程基础平面布置图	184
3.14.6	基础沉降计算与计算分析	184
3.14.7	基础梁板弹性地基梁法计算与分析	187
3.14.8	桩筏、筏板有限元计算与计算分析	191
4	预制预应力混凝土装配整体式框架结构节点做法及构件工艺深化设计原则	195
4.1	工程概况	195
4.2	结构体系	195
4.3	梁节点做法与工艺深化设计原则	196
4.3.1	梁节点做法	196
4.3.2	梁工艺深化设计原则（以屋面层为例）	200
4.4	柱节点做法与工艺深化设计原则	210
4.4.1	柱节点做法	210
4.4.2	柱工艺深化设计原则（以第六层为例）	211
4.5	板节点做法与工艺深化设计原则	217
4.5.1	板节点做法	217
4.5.2	板工艺深化设计原则（以第六层为例）	218
4.6	外挂板节点做法与工艺深化设计原则	221
4.6.1	外挂板拆分原则	221
4.6.2	六层外挂板 WGX104 详图	222

4.6.3	六层外挂板 WGX220 详图	224
4.7	内墙节点做法与工艺深化设计原则	226
4.8	楼梯节点做法与工艺深化设计原则	226
4.9	阳台节点做法与工艺深化设计原则	226
4.10	空调板点做法与工艺深化设计原则	226
5	装配整体式剪力墙结构节点做法及构件工艺深化设计原则	227
5.1	工程概况	227
5.2	结构体系	227
5.3	梁节点做法与工艺深化设计原则	227
5.3.1	梁节点做法	227
5.3.2	梁工艺深化设计原则	227
5.3.3	受拉钢筋基本锚固长度 (表 5-1)	229
5.4	剪力墙节点做法与工艺深化设计原则	229
5.4.1	剪力墙节点做法	229
5.4.2	剪力墙工艺深化设计原则	241
5.5	内墙 (带梁) 工艺深化设计原则	255
5.5.1	预制内墙板平面布置	255
5.5.2	NQX301 详图	256
5.6	内隔墙 (不带梁) 节点做法与工艺深化设计原则	259
5.6.1	内隔墙节点做法	259
5.6.2	内隔墙 (不带梁) 工艺深化设计原则	260
5.7	板节点做法与工艺深化设计原则	266
5.7.1	板节点做法	266
5.7.2	板工艺深化设计原则	266
5.8	楼梯工艺深化设计原则	272
5.9	阳台节点做法与工艺深化设计原则	280
5.9.1	阳台与外隔墙连接节点	280
5.9.2	阳台工艺深化设计原则	280
5.10	空调板节点做法与工艺深化设计原则	284
5.10.1	空调板节点做法	284
5.10.2	空调板工艺深化设计原则	285
	参考文献	287

1 绪 论

1.1 建筑工业化进入“高铁时代”

建筑工业化是克服传统生产方式缺陷、促进建筑业快速发展的重要途径。通过建筑工业化,可以彻底摆脱高能耗、高污染、低效率、低效益的传统建筑生产方式。伴随着新时期国家发展的政策机遇,建筑工业化也迎来了新的发展契机。从政府部门到科研院所,从生产部门到施工单位都充分意识到发展建筑工业化的重要性,并致力于全面推进建筑工业化的快速发展。

2012年11月30日,由东南大学牵头,联合同济大学、浙江大学、湖南大学、清华大学等五所高校以及中国建筑工程总公司等15家行业领军企业与研究机构共同组建的“新型建筑工业化协同创新中心”。

2013年1月1日,国务院办公厅2013[1]号文件《绿色建筑行动方案》,明确提出将“推广建筑工业化,发展绿色建筑”列为十大重要任务之一;2013年11月,俞正声主席主持全国政协双周协商座谈会,建言“建筑产业化”,提出要制订和完善相关政策法规推进建筑产业化发展,这是我国建筑工业化发展历程中第一次真正落实到政策层面的推动举措。2014年3月16日,中共中央、国务院印发的《国家新型城镇化规划(2014-2020年)》更是提出要“强力推进建筑工业化”。

2014年9月,国内最大规模的住宅产业化联盟由远大住工、三一重工、省建筑设计院、中南大学、中建五局、沙坪建筑等19家单位的“湖南省住宅产业化联盟”组建成立。

各省市更是频频出台推动建筑工业化发展的政策、措施。北京、上海、湖南、安徽、江苏、浙江等地先后制定相关政策、措施,除在政策、税务、土地等方面给予政策优惠,制定鼓励市场购买的相关激励政策外,还将保障房作为主要试点领域,推动新型建筑工业化发展,促进传统建筑模式转型。

目前,国家已经批准万科、正泰集团、宝业集团、远大住工、宇辉集团、三一重工等47个国家住宅产业化基地。试图通过培养和发展一批符合建筑工业化要求的产业关联度大、带动能力强的龙头企业,集中力量探索建筑工业化生产方式,建立符合住宅产业化要求的新型建筑工业化发展道路,以点带面,全面推进建筑工业化的快速发展。

1.2 设计工厂协同发展模式构建

1.2.1 设计工厂协同发展模式的提出

“设计工厂”的概念正是在建筑工业化快速发展的大环境下孕育而生。“设计工厂”相当于传统建筑行业中各单位及部门的组织者,在本质上体现的是一种工业化的设计理念,采取的是设计生产施工一体化的生产方式。将设计标准化、构件生产工厂化、建造施工装

配化、施工管理精细化均纳入各阶段的设计方案中。

1.2.2 三位一体的协同运行模式的构建

建筑工业化发展初期的成本较高，社会和环境效益还不能及时显现，“设计工厂一体化”的生产方式对产业链上各方的依赖程度更高。因此，仅靠“设计工厂”自身的推动很难迅速发展，需要政府营造良好的外部环境，给予大力培育和产业链上相关方的支持，也需要建立不同利益主体协同运行机制。目前，市场的影响力、政策的扶持力度和技术创新能力已经成为影响建筑工业化发展的主要因素。我们需要协调“政府、企业、社会”三方共同参与，建立技术保障机制、政策推动机制、市场动力机制和社会认同机制。通过协同化运作模式，强力推动设计工厂在建筑工业化中的快速发展。

由政府利用政府审核批准设计的权利，制定不同类型项目必须达到的工业化水平标准，以强力推行建筑工业化。由政府协调好建设单位、供应单位和施工单位的利益分配；由政府通过评定、认证等方式进行信息监督和传递，使消费者正确进行信号甄别，加快构建信息共享机制，建立信息交流平台，提高对建筑产业化产品的认识、鉴别能力等，从而减轻信息不对称现象，加大推广宣传力度，发挥典型产品的示范效应，使其对工业化产品的质量、功能和成本得到认同，促进建筑工业化产品消费市场的形成。

对于建筑工业化设计院，应配合政府，在技术保障机制中进行研究与探索，组织公司的人力、财力，完善的工业化标准体系，推动标准规范、结构体系、通用图集等的基础性研究工作。在设计阶段，BIM（建筑信息模型）技术可以很好地对各专业工程师的设计方案进行协调，对方案的可施工性和施工进度进行模拟，解决施工碰撞等问题等，建筑工业化设计院应进行这方面的研究与探索，提高设计效率的同时将其推广，推动我国建筑工业化快速、持续的发展。

通过政府的引导、支持和推动，企业的认可、投入和创新等方式进行信息监督和传递，使消费者正确进行信息甄别，加快构建信息共享机制，建立信息交流平台，提高对建筑产业化产品的认识、鉴别能力等，从而减轻信息不对称现象，加大推广宣传力度，发挥典型产品的示范效应，使其对工业化产品的质量、功能和成本得到认同，取得社会的认知、认同和满意，促进建筑工业化产品消费市场的形成，最终达到建筑工业化的协同效应，如图 1-1 所示。

1.2.3 数字化技术平台助推设计工厂模式发展

工业化建筑设计是一个精细化设计和施工过程，通过数字化技术平台把设计、采购、生产、物流、施工、财务、运营、管理等各个环节集成起来，以实现全流程信息化管理，即，我们所说的两化融合——“工业化+信息化”。信息化进程和工业化进程不再独立进行，不再是单方的带动和促进关系，而是两者在技术、产品、管理等各个层面相互交融，彼此不可分割。

在此背景下，“设计工厂”引入数字化技术平台的概念，通过 ERP 系统与设计阶段的 BIM 系统及 iTWO 系统等集成，建立一套完整的企业信息化管理平台，以实现 5D 项目管理，其系统构成如图 1-2 所示。数字化技术平台的精髓是信息集成，一切的数据采集都通过“部件模型”驱动，即通过实体部件完成驱动所有项目业务发生，同时接口到 ERP 系统，形成及时、准确的初始数据。

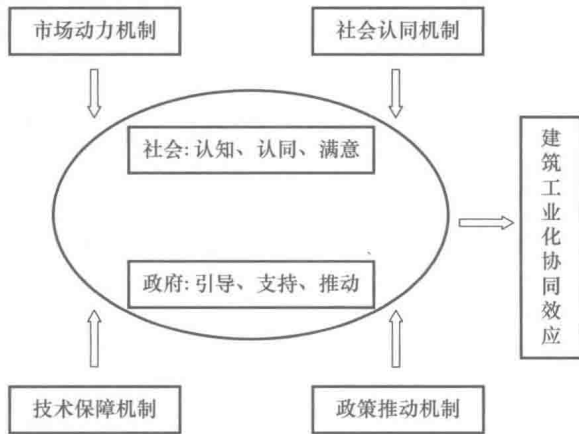


图 1-1 “政府、企业、社会”三位一体的协同运行模式的构建

注：技术保障机制是建筑工业化发展的先决条件；政策推动机制是建筑工业化初期发展的重要推力；市场动力机制是建筑工业化长期发展的持续动力；社会认同机制是建筑工业化发展的不竭源泉。这 4 项机制相互依存、相互配合、互为条件。

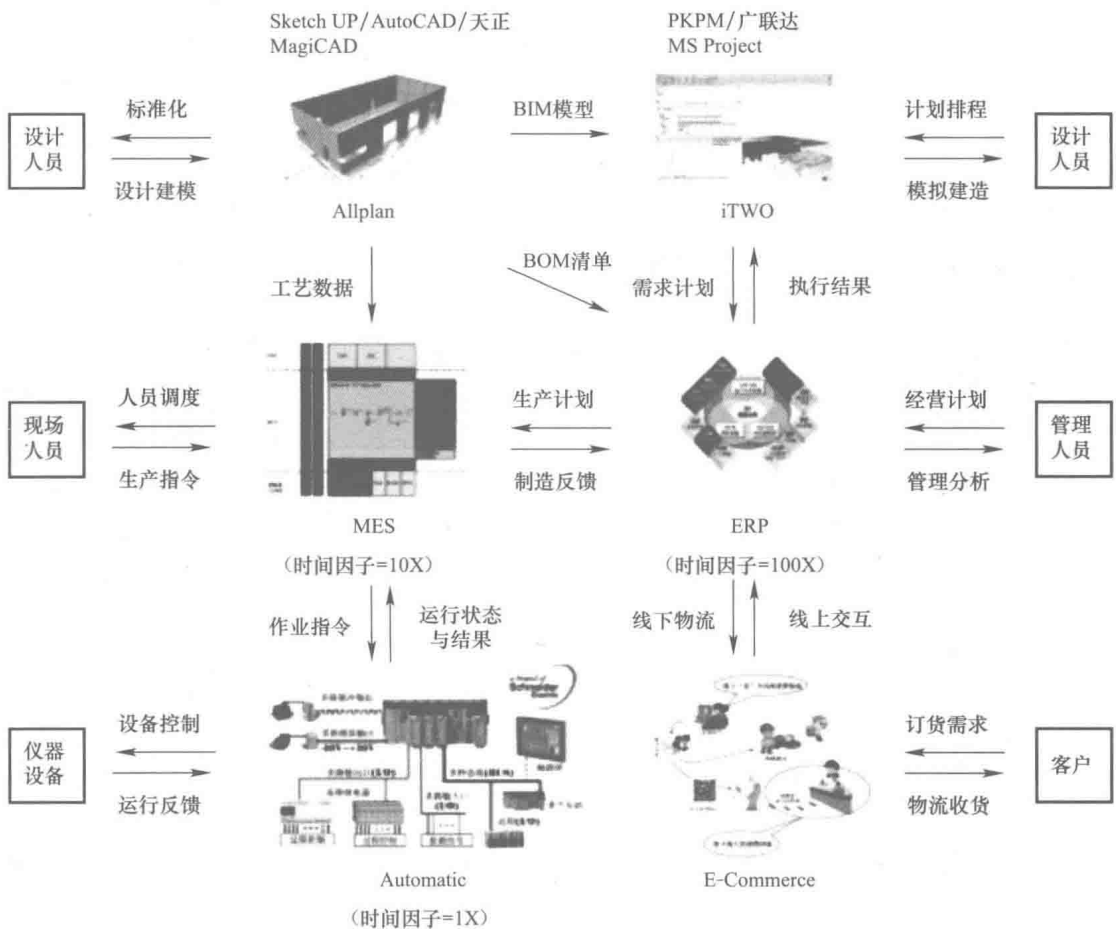


图 1-2 设计工厂两化融合概念

Bim 技术基于三维模型的特性，不仅是在平面视图中工作，也可以通过实时查看三维模型，在虚拟建筑空间中检查体验各项设计性能参数，把可能发生在现场的冲突与碰撞在 BIM 模型中进行事先消除。深化设计人员用 BIM 软件对建筑模型进行碰撞检测，不仅可以发现构件之间是否存在干涉和碰撞，还可以检测构件的预埋钢筋之间是否会冲突和碰撞，根据碰撞检测的结果，可以调整和修改构件的设计并完成深化设计图纸。使所有的钢筋水泥、预留预埋都是精准到位的，精度从厘米级上升到毫米级，这是传统方式生产的模板无法比拟的。从而使构配件质量和生产进度都是有保证。实现整个模拟施工和建造，开发复杂构件，有利于节约成本。

iTWO 系统架起 BIM 系统和 ERP 企业资源管理系统之间空洞的桥梁，是虚拟建筑模型与实体建筑的整合，涵盖建筑项目整个生命周期，实现数据的一致性和可追溯性。从建筑模型到成本控制，再到 5D 施工管理，提供全生命周期的技术支撑，如图 1-3 所示。其主要特征有：

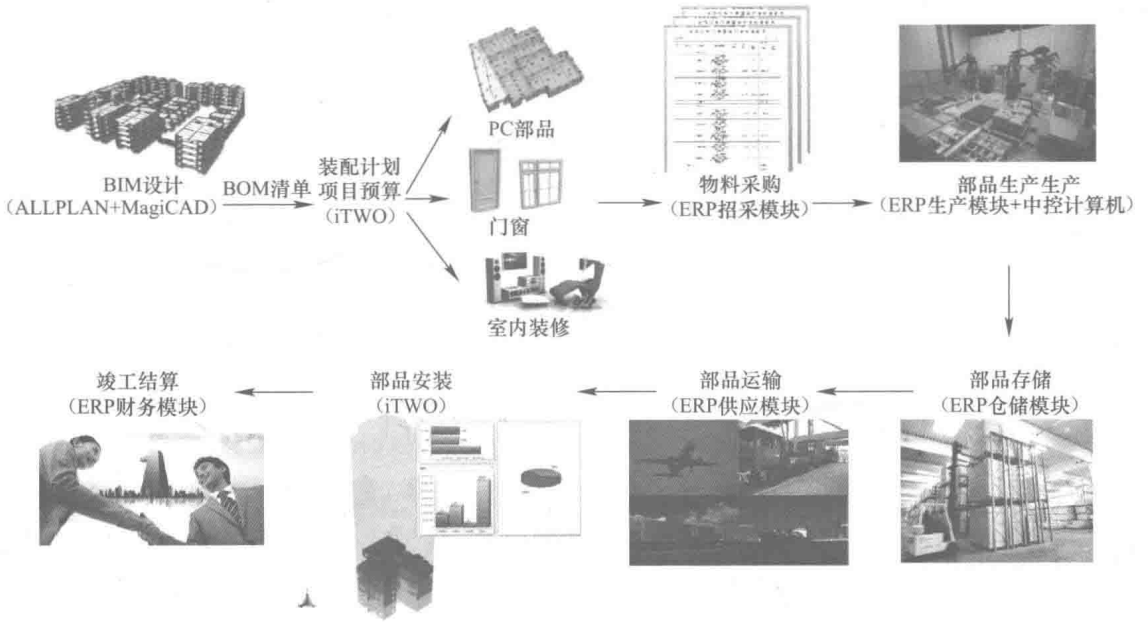


图 1-3 信息技术业务流程

(1) 在 BIM 调优功能的基础上将设计的模型信息可以无缝、无损导入系统平台，进行 BOM 清单统计、造价分析、进度管理等。

(2) 具有强大的数据库管理功能，可以直接将相应的企业定额、材料、组价信息导入系统，形成公司内部的成本控制体系，为项目的成本控制提供强大的后台数据支持。

(3) 系统整体架构较好，能够与多种第三方 ERP 系统整合，并且这套系统中最大化的集成了项目施工建造中所需要的各类功能。如商务谈判、合同管理等。

ERP 则是建立在信息技术基础上，以系统化的管理思想，为企业决策层及员工提供决策运行手段的管理平台。在管理和组织上采取更加灵活的方式，对供应链上供需关系的变

动（包括法规、标准和技术发展造成的变动），同步、敏捷、实时地做出响应；在掌握准确、及时、完整信息的基础上，做出正确决策，能动地采取措施。借助 ERP 系统，项目部可以动态掌控预制构件生产进度、仓储、物流情况以及现场施工进度，实现了质量、进度、成本的三个可控。

1.3 对装配式结构设计的理解

装配式结构最大的特点就是等同于现浇，由于装配式结构是由预制柱、预制剪力墙、叠合梁、叠合板、预制楼梯、预制阳台等构成，构件在进行计算时，调整系数与传统结构有细微的差别。

装配式结构在进行结构布置时，为了减少装配的数量及减小装配中的施工难度，往往不设置次梁。在进行梁柱等构件布置时，应提前知道工厂生产设备生产构件截面尺寸的边界条件，否则设计的构件无法生产。在进行剪力墙布置时，墙的布置应尽量去方便工艺拆分。

板的传力模式应根据产业化公司板的类型确定，如果采用双向叠合板，则可以不改变受力模式，如果采用单向预应力叠合板或者单向预应力空心板，则应把板的受力模式改为对边传导，单向传力。

装配式结构用 PKPM 等软件进行计算时，周期折减系数、梁刚度增大扭矩折减系数等与传统设计有细微的差别，在设计中应认真对待。

装配式结构在绘制施工图时，应尽量减少柱或者剪力墙边缘构件中的套筒个数，节省造价。

装配式剪力墙结构中剪力墙进行布置时，除了按传统剪力墙结构中的思维去布置剪力墙外，还应注意如下要点：

(1) 在对剪力墙结构进行布置时，多布置 L 形、T 形剪力墙，少在 L 形、T 形剪力墙中再加翼缘，特别是外墙，否则拆墙时被拆分得很零散。如果要加翼缘则要满足拆分时要求或养护窑尺寸要求。

(2) 剪力墙结构中翼缘长度，有两种不同的思路：

第一种是，对于 L 形外墙翼缘长度一般 $\leq 600\text{mm}$ ，T 形翼缘长度一般 $\leq 1000\text{mm}$ （防止边缘构件现浇长度太长而在浇筑中出现问題），在门窗处留出 $\geq 200\text{mm}$ 的门垛，如图 1-4 所示。

第二种是，对于 L 形外墙翼缘长度可 $\geq 600\text{mm}$ ，T 形翼缘分长度可 $\geq 1000\text{mm}$ ，翼缘端部顶着窗户，如图 1-5 所示。

(3) 剪力墙与带梁隔墙的连接，主要是满足梁的锚固长度，在平面内一般不会出现问題，因为往往暗柱留有 400mm 或 500mm 现浇（200 厚墙）或者与暗柱一起预制；无论在剪力墙平面内还是平面外，门垛或者窗垛 $\geq 200\text{mm}$ 或者为 0mm。当梁钢筋锚固采用锚板的形式时，梁纵筋应 $\leq 14\text{mm}$ （200 厚剪力墙），在实际设计时，面筋与底筋一般一排只放 2 根，否则混凝土施工时会比较困难。

(4) 带梁隔墙与剪力墙在平面内外都可以一起预制（墙重量满足起吊最大重量），一起预制后，效果与现浇基本等同，现浇位置可以转移。

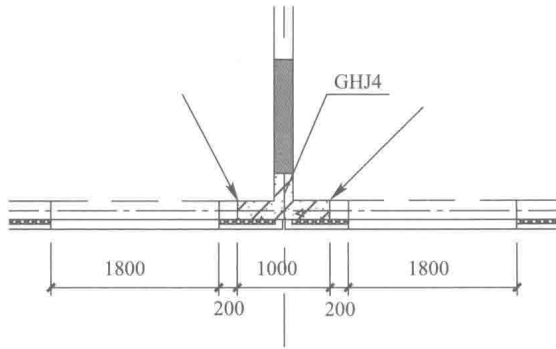


图 1-4 剪力墙布置 (1)

注: 1. 1800mm 为窗宽, 200mm 为留出的窗垛 (方便拆分), 1000mm 为翼缘长度;

2. 箭头处在层高方向, 只有梁与现浇边缘构件钢筋进行锚固, 在其下的 200mm 窗垛与现浇边缘构件之间没有钢筋连接, 只有预制混凝土与现浇混凝土相连, 咬合力不是很好, 在地震作用时是薄弱部位, 不会与边缘构件形成整体一起受力, 不应有安全问题。

3. 当窗垛 $\geq 600\text{mm}$ 时, 可以做空心外隔墙, 也能与现浇边缘构件在交接处形成薄弱部位, 不会与边缘构件形成整体一起受力, 不应有安全问题。

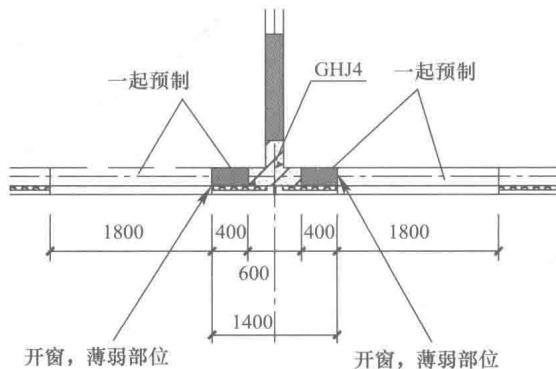


图 1-5 剪力墙布置 (2)

注: 1. 1800mm 为窗宽, 1400mm 为翼缘长度, 其中 600mm 为现浇, 400mm 为预制;

2. 梁带外隔墙 (含窗户) 与 400mm 剪力墙一起预制, 在把钢筋锚入 600mm 现浇混凝土中;

3. 箭头处在层高方向, 与 400mm 预制边缘构件整体相连, 由于开了很大的窗洞, 在箭头处是薄弱部位 (地震作用时), 不会与边缘构件形成整体一起受力, 不应有安全问题。

1.4 对装配式结构构件工艺深化设计的理解

装配式结构构件工艺深化设计, 即满足受力安全的前提下, 把不同的单独的构件进行拼装, 为了保证整个结构或单个构件的安全性, 不出现裂缝等, 背后是对力、变形及概念设计的深刻理解。传统的混凝土构件通过现浇混凝土去协调不同构件之间的整体变形, 使得整体受力, 而装配式结构不同构件之间则通过混凝土+不同连接件去协调变形, 从而满足结构或构件的不同性能要求。本节将从“变形协调”、“概念设计思维”、“钢筋”、“混凝土”、“连接件”、“吊具”、“三维空间”及“优化设计”谈谈对构件工艺深化设计的理解。

1.4.1 变形协调

一个三维的建筑物，用不同的独立的构件按一定的规则拼装在一起，不同构件之间有不同的变形，不同材料之间也有不同的变形，于是往往借助混凝土或者连接件去变形协调，或者从源头上采用“避”的概念设计思维。变形协调结果由于彼此间相互制约作用而产生附加应力，如果材料能承受这附加应力，则能保证结构或构件的不同性能要求，不能承受，则产生各种问题，如裂缝等。

在变形协调之前，应对变形与力流分布有深刻理解，即结构力学与材料力学中不同构件的弯矩、剪力的具体分布要很清楚。

1.4.2 概念设计思维

不同的构件计算，一般可以简化为连续梁、简支梁、悬臂梁模型等。而不同构件之间的拼装（竖向还是水平构件），都可以用板模型来类比，即通过确定不同的支座，形成两边支座的单向板、三边板、四边支座的双边板等。

不连续的地方一般应加强，比如边缘构件、板边、角柱、底柱和顶柱、开洞处。不同材料的连接处应加强，附加应力总是在薄弱处得到释放。

1.4.3 钢筋

梁构件中钢筋一般包括：面筋、底筋、箍筋、抗扭纵筋、构造腰筋等；板构件中的钢筋一般包括：面筋、底筋、分布钢筋等；柱构件中的钢筋一般包括：竖向纵筋、箍筋等；墙构件中的钢筋一般包括：箍筋、拉筋、水平分布筋、竖向分布筋、边缘构件中的受力纵筋等。在有结构施工图的前提下，按照规范及图集要求在预制构件中不同位置处放置不同的钢筋即可。

钢筋锚固长度应具体情况具体分析，分为受拉锚固与受压锚固，受拉锚固可分为直接承受拉力或者在弯矩的作用下承受拉应力。所以在拆分时，应该对构件不同工况下的受力很清楚，也应该对相关图集构造很熟悉。

钢筋锚固时，在空间上存在“打架”的问题。不同构件之间钢筋可能打架，有时应让构件中的钢筋在水平或者垂直方向以一定的角度适当地倾斜。有些构件钢筋锚固时由于长度的限制，不能直锚，可以采用“直+弯”的锚固形式或者“直+锚板”的形式。弯锚的方向可以根据具体工程情况向上或者向下锚固。无论是直锚、“直+弯”还是“直+锚板”，都应满足规范与图集的规定，有时，可以根据实际工程适当加大。

1.4.4 混凝土

混凝土在装配式构件拼装时通过预留空间起着“协调”的作用，从而保证结构的安全性，比如梁柱节点通过预留空间让混凝土去协调，预制板上现浇一定厚度的混凝土去协调，边缘构件部分通过现浇混凝土去协调等，从而把不同的构件较好地连接在一起，保证结构或构件的安全性能。有时，预留空间也能解决“钢筋打架”的问题。

1.4.5 连接件

不同构件之间的拼装（竖向还是水平构件），都可以用板模型来类比，即通过确定不

同的支座，形成两边支座的单向板、三边板、四边支座的双边板等。

预制内隔墙与上层板在竖向通过“插筋孔”相连形成支座；预制内隔墙与预制内隔墙或者预制剪力墙在不同的边通过“盒子+套筒”形成支座；阳台外隔墙顶部通过开槽“预留钢筋”与顶部相邻的楼边相连形成支座，阳台外隔墙底部通过开槽设置套筒用角钢与底部相邻的楼边相连形成支座；在两侧通过开槽设置套筒用角钢与相连的隔墙相连形成支座；空调板上的单独隔墙，由于没有其他隔墙与之形成支座，可以设置为悬挑构件，与相邻的墙形成支座。

200厚含泡沫钢丝网架的内隔墙，顶部一般预留300高的实心墙体，底部可以通过预留吊筋与200厚含泡沫钢丝网架的内隔墙相连，类似于梁上吊板的做法，形成支座关系；预制剪力墙墙身边缘通过预留插筋，与边缘构件中的箍筋、纵筋等相连，形成支座关系；剪力墙结构外墙中的“外叶+保温层”与相邻的墙体之间通过连接钢筋与套筒形成支座的关系。

当支座关系形成后，再根据力的大小及分布，以一定的间距在空间布置不同的连接件。

1.4.6 吊具

吊具是构件起吊时要用的，正常使用时不需要。吊具的根数，应满足构件承重的要求且应成双布置；吊具的定位，边距一般应 $\geq 200\text{mm}$ ，否则容易开裂。中间部位吊具的间距，有一个最大间距的要求，吊具的布置，背后是结构力学中弯矩等的合理分布。

卫生间应尽量使用套筒作为吊具，其他吊具长度太长，会露出板面。

1.4.7 三维空间

不同构件之间拼装时，在三维空间中存在“打架”或者“不好拼装”的问题，所以应该根据建筑图等，预留缺口，防止构件打架。在拼装时，内隔墙与上层板底及相连预制内隔墙之间留有10mm缝，是为了更准确的装配。外墙中的“外叶+保温层”之间一般留有20mm的缝，也是出于同样目的考虑。

1.4.8 优化设计

不同构件之间进行拼装时，可以进行优化设计，比如吊钉不好施工或者造价贵时，可以采用钢筋进行代替，内隔墙与隔墙之间的连接，如果采用“盒子”+“套筒”造价比较贵，则可以用一定宽度的混凝土+桁架钢筋进行替换。

1.5 概念设计与思维

概念设计是运用人的思维和判断力，从宏观上决定结构设计的基本问题。概念设计是结构设计的精髓，设计思维是结构设计分析与应用手段，概念设计与设计思维灵活运用，如同结构工程师的“左膀右臂”，在实际工程中会起到事半功倍之效。概念不是经验的简单累计，而是先验，更是直觉（insight），背后是设计思维，甚至哲学。概念设计必须依靠扎实的理论基础、丰富的实践经验以及不断创新的思维。概念设计应从点到线，由线到

面，由面到空间体的整体性思维，加强局部，更应强调整体；概念设计，不论是点、线、面、空间，都是强调的“一”，即简单，能看到复杂背后最简单本质的一面。本小节与装配式设计关联不大，但考虑到其重要性，大多数结构工程师在做装配式设计时也兼顾做传统设计，故编写于此。

1.5.1 概念设计

(1) 物尽其用

力流的传递过程应“物尽其用”，提高材料的利用效率。比如混凝土抗压强度远远大于抗拉强度，应尽量让混凝土构件受压，而不是受拉、受弯。当结构受到弯矩时，弯矩的本质也是拉压应力，拉应力材料的利用率不高。拱的效率高于梁（比普通梁构件多了轴力），桁架结构效率高于实体结构也体现着以上观点。

筏板基础设计时，常采用“柱墩”或变厚度筏板，柱墩设置范围较小，主要用来解决柱（或强墙）根部的冲切问题，如果把整块板加厚，则造成浪费。

(2) 均匀

刚度的布置应均匀，否则刚度的不均匀会导致力流的不均匀。周期比、位移比、剪重比都与扭转变形及相对扭转变形有关，刚度一般有 X、Y 向刚度，结构周期中某个转角的平动周期不纯，其背后的本质就是该方向两侧刚度不均匀或结构内外相对刚度不合理（产生扭转变形）。X 方向或 Y 方向两端刚度接近（均匀）才位移比小，两端刚度大于中间刚度才会扭转小（偏心荷载作用下），周期比更容易满足。

结构转换层上下之刚度比规定体现对结构竖向刚度均匀变化的要求。在转换层结构中，如果转换梁上的剪力墙布置不均匀，则在转换梁上会产生较大的相对竖向位移，会造成转换梁的超筋。

(3) 连续

当柱网纵横方向的长跨与短跨之比 ≤ 1.2 时，次梁在满足建筑等的前提下（一般墙下布梁），一般尽量沿着跨度多的方向布置，这也是为了实现力流在纵横方向的均匀分配，结构纵向刚度大，就要多承受力，纵向布置次梁，次梁的布置连续，可以充分利用梁端负弯矩协调变形。

楼盖设计时，次梁的布置应连续，如果不连续布置（间断布置或交错布置且间隔很近），扭转会很大，往往主梁超筋或者箍筋计算值会很大。

图 1-6 中的牛腿与钢柱刚接，牛腿根部有较大的弯矩，对钢柱不利，可以将牛腿的上下翼缘延伸至钢柱边，形成一个“刚域”，能形成更可靠的连接关系。

图 1-7 中钢梁拼接处属于不连续的地方，于是采用“端板+加劲肋”去加强。

(4) 传力途径短

四边支座的楼板在传力时优先向短方向传递。当柱网长宽比大于 1.5 时，宜采用加强边梁的单向次梁方案。单向次梁应沿着跨度大方向布置，落在跨度小的主梁上，一起合力跨越大跨度，而不是依附在他物上跨越长距离，这样做传力路径短比结构布置连续更重要。

在楼盖设计时，次梁在不同位置处布置会产生不同的作用效果，次梁的布置在满足建筑的前提下应尽量离支座近（ $\geq 300\text{mm}$ ），让传递途径短，如图 1-8 所示。

在进行基础设计时，如果采用人工挖孔桩或者旋挖桩等，可以采用墙端部布置桩，让