



装配式剪力墙结构 设计与施工

谢俊 邬新邵 著

中国建筑工业出版社

装配式剪力墙结构设计与施工

谢 俊 邬新邵 著



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

装配式剪力墙结构设计/谢俊, 邬新邵著. —

北京: 中国建筑工业出版社, 2017.8

ISBN 978-7-112-20844-9

I. ①装… II. ①谢… ②邬… III. ①剪力墙结构-结构设计②剪力墙结构-工程施工 IV. ①TU398

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 136693 号

全书共分为六章, 主要内容包括: 绪论; 装配式剪力墙结构设计概述; 装配式剪力墙结构优化设计; 装配式剪力墙结构深化设计; 装配式剪力墙结构施工; 装配整体式剪力墙结构成本分析。

本书可供从事建筑结构设计的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: 李志立

责任校对: 王宇枢 李欣慰

装配式剪力墙结构设计/施工

谢 俊 邬新邵 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京君升印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 7¼ 字数: 179 千字

2017 年 12 月第一版 2017 年 12 月第一次印刷

定价: 29.00 元

ISBN 978-7-112-20844-9

(30502)

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

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法律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”。2016年9月,党中央和国务院在《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》(中办发〔2016〕6号文),明确要求:“力争用10年左右时间,使装配式建筑占新建建筑的比例达到30%”。2017年3月30日,住建部关于印发《“十三五”装配式建筑行动方案》《装配式建筑示范城市管理办法》《装配式建筑产业基地管理办法》的通知(建科〔2017〕77号文)更是进一步明确发展指标,提出了“到2020年,培育50个以上装配式建筑示范城市,200个以上装配式建筑产业基地,500个以上装配式建筑示范工程,建设30个以上装配式建筑科技创新基地,充分发挥示范引领和带动作用。”

目前,国家已经批准中民筑友、远大住工、宇辉集团、三一重工等一批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,全面推进建筑产业现代化。

装配式建筑是实现建筑产业现代化的必由之路,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。通过建筑产业现代化,可以彻底摆脱传统建筑高能耗、高污染、低效率、低效益的作业方式。而目前国内传统粗放的施工建造模式仍非常普遍,伴随着国家政策的陆续出台,装配式建筑的发展已然是建筑业的必然趋势。

本书由中南大学建筑与艺术学院谢俊博士和湖南五环体育实业发展集团有限公司总经理邬新邵先生合著,感谢中民筑友科技集团提供技术支持,感谢董事长闾军先生和首席技术官俞大有先生为代表的中民筑友人的全力支持,李政、谢志成、张贤超、胡友斌给予全书诸多建设性意见,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,恳请读者批评指正。

目 录

1 绪论	1
1.1 装配式建筑是未来的必然趋势	1
1.2 装配式建筑的优点	1
1.3 全国各省市地区的装配式建筑政策	3
1.4 预制混凝土结构连接的分类	5
1.5 装配式混凝土建筑主要技术体系	5
1.6 装配式建筑主要瓶颈和问题	6
2 装配式剪力墙结构设计概述	8
2.1 装配式混凝土结构中的设计思维探讨——“加与减”及“分与合”	8
2.2 结构与易经	10
2.3 装配式剪力墙结构设计与传统设计的不同	12
3 装配式剪力墙结构优化设计	20
3.1 装配式剪力墙结构优化设计中的“平衡”原理	20
3.2 装配式剪力墙结构优化设计中的“加法”原理	21
3.2.1 加大外围构件的刚度	21
3.2.2 桩基础设计中的一些加法	21
3.2.3 独立基础优化设计的加法	21
3.2.4 加大地下室外墙裂缝宽度	21
3.2.5 剪力墙结构中的一些加法	21
3.3 装配式剪力墙结构优化设计中的“减法”原理	22
3.3.1 减层高	22
3.3.2 减小外围构件的刚度与内部结构的刚度	22
3.3.3 减少单桩承台厚度、平面尺寸及配筋	23
3.3.4 减少柱墩下部钢筋的间距	23
3.3.5 独立基础优化设计的减法	23
3.3.6 桩基础设计时的一些减法	23
3.3.7 筏板基础优化设计中的一些减法	23
3.3.8 地下室设计中的减法	24
3.3.9 减少沉降缝设置	24
3.3.10 减少没有必要的次梁	24

3.3.11 减小梁的截面尺寸	25
3.3.12 剪力墙结构中墙肢的减法	25
3.3.13 减少梁配筋的常见优化措施	25
3.3.14 减少墙配筋的常见优化措施	26
3.3.15 减少柱配筋的常见优化措施	26
3.4 装配式剪力墙结构优化设计中的方案选型	27
3.4.1 基础底板选型	27
3.4.2 “端承型桩”与“摩擦型桩”的选型研究分析	27
3.4.3 剪力墙结构中桩基础布置方案选择	28
3.4.4 地下室顶板次梁方案比较	28
3.4.5 地下室抗浮方案选择	28
3.4.6 坡道方案选型	29
3.4.7 剪力墙结构刚度富余太大时的方案选择	29
3.4.8 不带地下室别墅首层板方案选择	29
3.5 装配式剪力墙结构优化设计与规范规定	29
3.6 装配式剪力墙结构优化设计与软件操作	30
3.7 装配式剪力墙结构优化设计与施工	30
4 装配式剪力墙结构深化设计	32
4.1 工程概况	32
4.2 结构体系	32
4.3 梁节点做法与工艺深化设计原则	33
4.3.1 梁节点做法	33
4.3.2 梁工艺深化设计原则	33
4.3.3 受拉钢筋基本锚固长度	33
4.4 剪力墙节点做法与工艺深化设计原则	35
4.4.1 剪力墙节点做法	35
4.4.2 剪力墙工艺深化设计原则	48
4.5 内墙（带梁）工艺深化设计原则	62
4.5.1 预制内墙板平面布置	62
4.5.2 NQX301 详图	63
4.6 内隔墙（不带梁）节点做法与工艺深化设计原则	65
4.6.1 内隔墙节点做法	65
4.6.2 内隔墙（不带梁）工艺深化设计原则	67
4.7 板节点做法与工艺深化设计原则	73
4.7.1 板节点做法	73
4.7.2 板工艺深化设计原则	73
4.8 楼梯工艺深化设计原则	79
4.9 阳台节点做法与工艺深化设计原则	87

4.9.1	阳台与外隔墙连接节点	87
4.9.2	阳台工艺深化设计原则	87
4.10	空调板节点做法与工艺深化设计原则	90
4.10.1	空调板节点做法	90
4.10.2	空调板工艺深化设计原则	91
5	装配式剪力墙结构施工	94
5.1	装配整体式剪力墙结构施工流程	94
5.2	装配整体式剪力墙结构施工前应注意事项	94
5.3	预制梁施工技术要点	94
5.4	预制剪力墙施工要点	95
5.5	预制楼（屋）面板施工技术要点	97
5.6	预制楼梯施工技术要点	98
5.7	预制阳台、空调板施工技术要点	98
5.8	预制内隔墙施工要点	99
5.9	后浇混凝土	100
5.10	装配式剪力墙施工进度实例	100
5.11	装配式剪力墙结构中的施工协调	101
6	装配整体式剪力墙结构成本分析	104
6.1	工程成本构成	104
6.1.1	传统现浇结构成本构成	104
6.1.2	装配式结构成本构成	104
6.2	装配整体式剪力墙结构成本的“增”与“减”	104
6.2.1	装配整体式剪力墙结构成本的“增”	104
6.2.2	装配整体式剪力墙结构成本的“减”	104
6.3	不同预制率装配整体式剪力墙结构成本增加	105
6.4	装配整体式剪力墙结构不同预制方案与预制率的关系	105
6.5	不同预制构件对增量成本的影响	106
6.6	降低装配整体式结构工程造价的对策	106
6.7	预制装配式对施工成本影响的量化分析实例	107
	参考文献	109

1 绪 论

1.1 装配式建筑是未来的必然趋势

当今世界生产力快速发展的根本原因无一例外是在于科学技术的日新月异。在被世界众多国家视为经济支柱的建筑业，科学技术的迅猛发展和不断创新极大地推动了建筑业的迅猛发展。随着建筑工业化发展的要求，世界发达国家都把建筑部件工厂化预制和装配化施工作为建筑产业现代化的重要标志。发达国家在 20 世纪四五十年代，首先对建筑墙体进行革新研究，由小块材料（烧结制品标准砖）向大块墙材转变，大块墙材向轻质板材和复合板材方向转变，即向装配式建筑墙体方向发展，随后对楼板、梁、柱由现浇向预制方向转变。经过半个多世纪的发展，各国已经基本形成了本国的工业化建筑体系和与之配套的墙体材料的主导产品。日本在装配式建筑结构体系建筑方面研究工作比较深入，近年来建造了许多装配式结构体系建筑工程，它作为日本建筑业三大建筑体系（钢筋混凝土结构体系、钢结构体系和木结构体系）之一共同支撑着日本建筑市场，像英国、德国、美国等发达国家建筑工业化程度也很高，特别是瑞典建筑工业化程度在国内到达 80% 以上，是世界上建筑工业化程度最高的国家。装配式建筑工业化是世界性的大潮流和大趋势，同时也是我国改革和发展的迫切要求。在我国建材工业和建筑业已成为国民经济的基础产业和支柱产业。“十二五”期间，我国各方面的改革进入深水区，建筑业也不例外，人们开始逐渐发现传统建筑方式已经不再完全符合时代的发展要求。对于日益发展的建筑市场，现浇结构体系所存在的弊端趋于明显化。面对这些问题，结合国外的建筑工业化成功经验，我国建筑行业必将掀起装配式建筑工业化的浪潮，使其发展进入一个崭新的时代，并将促进建筑领域生产方式的巨大变革。虽然在国内真正研究装配式建筑还处在起步阶段，装配式建筑技术也不太成熟，需要不断学习国外经验，不断改革创新。但是，不少公司在这方面已经走在国内前列，公司内部已经有一套相对成熟的装配式建筑体系。

1.2 装配式建筑的优点

(1) 装配式建筑可以实现建筑部件化、建筑工业化和产业化。所生产的产品可以根据建筑需要，在工厂加工制作成整体墙板、梁、柱、叠合楼板等构件，并可在构件内预埋好水、电管线、窗户等，还可根据需要在工厂将墙体装饰材料制作完成。装配式建筑构件在工厂生产，有固定的模具，使产品精度高，产品更加标准化、规范化、集成化，而且技术

标准易于统一，即以模数化构建标准化；由于装配式建筑构件标准化设计、工厂化生产，运送到工地就可以装配施工，每个构件可以像设备安装一样进行现场安装，即以标准化推动工业化；工业化不断发展摸索过程中，进而避免缺陷、减少浪费、提高效益，逐渐形成装配式结构体系，即以工业化促进产业化。随着产业化发展，装配式建筑会逐渐受到人们的青睐。

(2) 装配式建筑是绿色、环保、低碳、节能型建筑。我国在经济建设中坚持可持续发展的原则，以人为本，发展绿色建筑，特别是住宅项目把节约资源和保护环境放在突出的位置，大大地推动了绿色建筑的发展。装配式建筑施工技术使施工现场作业量减少、施工现场更加整洁，采用高强度自密实混凝土大大减少了噪声、粉尘等污染，最大程度地减少了对周边环境的污染，让周边居民享有一个更加安宁、整洁的无干扰环境。装配式建筑由干式作业取代了湿式作业，现场施工的作业量和污染排放量明显减少，与传统施工方法相比，建筑垃圾大大减少（据万科统计，可以减少垃圾 83%）。

(3) 目前，建筑业对劳动力资源的需求越来越紧缺，传统的建造方法对劳动力的密集依赖无法改变。工厂化施工的集中进行使现场施工作业量大幅减少，施工现场工人就可以大幅减少，这样装配式建造模式比传统建造模式大大节约了人力资源。同时，可以提高施工效率，进而又缩短了工期。另外，在建筑拆除后，大部分材料可以回收利用。因此，装配式建筑构件适应建筑低碳、节能的要求。整个建筑体系主要由水泥、砂、陶粒等轻质材料组成，构件强度高且质量轻，填充不同材料可以满足保温隔热和建筑隔声的要求，建成的大板建筑防水、防潮、居住舒适。这种建筑体系的耗能和释放 CO_2 也很少，是真正的绿色建筑产品。

(4) 装配式建筑便于施工，特点明显。装配式建筑为冬期施工提供了方便。装配式建筑需要的构件一般在工厂车间生产，不受季节限制。构件现场组合安装，减少工作量，减少现场湿作业量，特别有利于冬期施工，解决了北方地区冬期施工难的问题，而且施工周期短，节省人力物力，降低建筑成本，提高工作效率。

(5) 装配式建筑抗震性能高、耐火性好、隔声效果好。装配式建筑所使用的材料与传统建筑使用材料同体积相比质量较轻，建筑物自重低。同时，大多数构件已连接成一个整体，增加装配式的柔性连接，提高建筑的抗震性。装配式建筑墙体中间放置保温隔热材料，即使着火后材料也与外面火源隔开极难燃烧，所以耐火极限可以达到国家 A 级标准，属于非燃烧物体，满足建筑物耐火极限要求；装配式建筑构件隔声量大于 50dB (A)，满足建筑物隔声要求；能够为室内外提供良好的工作环境和生产环境。

(6) 装配式建筑的保温隔热性能非常好，可以达到节能的效果。由于装配式建筑保温隔热材料放置在墙体中间，而材料本身也满足建筑围护结构保温隔热的要求，这样使室内采暖能耗大量降低。正是装配式建筑构件的低导热性，使其可以满足建筑墙体保温隔热的使用要求。因为它可以避免产生热桥，在采用同样厚度的保温材料下，热损失减少约 1/5，从而节约了热能。因为墙体内部的热容量大，室内能蓄存更多的热量，可以使室内温度变化减缓，室内温度较为稳定，冬暖夏凉，生活较为舒适。

(7) 装配式建筑偏差减小，精确度大大提高。装配式建筑是工厂化的作业模式，构件绝大部分是工厂流水线生产，从铸模、成型到养护，精确的构件只需在工地进行组装就可以完成建造。钢筋经过工厂化机械加工、成型，并且通过人工抽检测量，确保尺寸标准；

依据精确弹线标示,安装组合钢模板。钢筋、水电管线及各种预埋件等预埋物入模,并进行预埋物的人工检查,将按照标准配合比配置好的混凝土浇筑到钢模内,进行混凝土的强度测验,确保质量合格。然后,对混凝土墙体进行养护,强度达到要求后拆除模具。这样,运到现场装配后建筑精确度比传统建筑方式提高一倍以上,精度偏差以毫米计算,真正以造汽车的精确方式建造房子。

1.3 全国各省市地区的装配式建筑政策

目前,全国已有 30 多个省市出台了装配式建筑专门的指导意见和相关配套措施,不少地方更是对装配式建筑的发展提出了明确要求。越来越多的市场主体开始加入到装配式建筑的建设大军中。在各方共同推动下,2015 年全国新开工的装配式建筑面积达到 3500 万~4500 万 m^2 ,近 3 年新建预制构件厂数量达到 100 个左右。

1. 上海市

装配式保障房推行总承包招标:上海市建筑建材业市场管理总站和上海市住宅建设发展中心联合下发通知,要求上海市装配式保障房项目宜采用设计(勘察)、施工、构件采购工程总承包招标。

单个项目最高补贴 1000 万:对总建筑面积达到 3 万 m^2 以上,且预制装配率达到 45%及以上的装配式住宅项目,每平方米补贴 100 元,单个项目最高补贴 1000 万元;对自愿实施装配式建筑的项目给予不超过 3%的容积率奖励;装配式建筑外墙采用预制夹心保温墙体的,给予不超过 3%的容积率奖励。

以土地源头实行“两个强制比率”:2015 年,在供地面积总量中落实装配式建筑的建筑面积比例不少于 50%;2016 年,外环线以内符合条件的新建民用建筑全部采用装配式建筑,外环线以外超过 50%;2017 年起,外环以外在 50%基础上逐年增加。2015 年单体预制装配率不低于 30%,2016 年起不低于 40%。

2. 安徽省

建筑产业化产值将达千亿:到 2020 年合肥市建筑产业化年产值将达千亿元以上。合肥市委先后引进了中建国际、远大住工、宇辉集团等企业,打造了一批生产基地项目,引进先进设备,实施产业升级。

推动建筑产业化项目试点:2012 年以来,合肥市先后开工建设了 13 个保障房产业化项目,总建筑面积达 133 万 m^2 。到今年 3 月,合肥市建筑产业化项目已开工和计划开工面积累计已达 300 万 m^2 ,并且今年还将新开工 120 万 m^2 。

培育 10 家国内领先的建筑产业集团:今后五年,合肥市将建立从住宅设计到施工建造以及相关配套部品的产业体系,使产业化基地形成一个较为完整的住宅工业化技术与产品体系。“十三五”末,力争培育 10 家国内领先的建筑产业集团。

3. 北京市

将推装配式装修:2015 年 10 月,北京市发布了《关于在本市保障性住房中实施全装修成品交房有关意见的通知》,并同步出台了《关于实施保障性住房全装修成品交房若干规定的通知》。

从2015年10月31日起,凡新纳入北京市保障房年度建设计划的项目(含自住型商品房住房)全面推行全装修成品交房。两个通知明确要求,经适房、限价房按照公租房装修标准统一实施装配式装修;自住型商品房装修参照公租房,但装修标准不得低于公租房装修标准。

4. 广东省

装配式建筑将达到30%:2016年7月,广东省城市工作会议指出,要发展新型建造方式,大力推广装配式建筑,到2025年,使装配式建筑占新建建筑的比例达到30%。

推动装配式施工:广东省住房和城乡建设厅2016年4月印发《广东省住房城乡建设系统2016年工程质量治理两年行动工作方案》。大力推广装配式建筑,积极稳妥推广钢结构建筑。同时,启动装配式、钢结构建筑工程设计计价定额的研究编制工作。

单项资助最高200万:2016年6月,深圳市住建局发布了《关于加快推进装配式建筑的通知》和《EPC工程总承包招标工作指导规则》。对经认定符合条件的示范项目、研发中心、重点实验室和公共技术平台给予资助,单项资助额最高不超过200万元。

5. 湖南省

装配式钢结构系列标准出台:2016年6月4日,湖南省正式发布三项关于装配式钢结构的地方标准,分别是《装配式钢结构集成部品主板》、《装配式钢结构集成部品撑柱》和《装配式斜支撑点钢框架结构技术规程》。

装配式混凝土结构系列标准出台:2016年11月,湖南省正式发布《装配式混凝土结构建筑质量管理技术导则(试行)》、《装配式混凝土建筑结构工程施工质量监督管理工作导则》。到目前为止,湖南省采用新型建筑工业化技术建设超过850多万平方米的建筑项目,包含写字楼、酒店、公寓、保障房、商品房、别墅等项目。

6. 山东省

积极推动建筑产业现代化。研究编制并推广应用全省统一的设计标准和建筑标准图集,推动建筑产品订单化、批量化、产业化。积极推进装配式建筑和装饰产品工厂化生产,建立适应工业化生产的标准体系。大力推广住宅精装修,推进土建装修一体化,推广精装房和装修工程菜单式服务,2017年设区城市新建高层住宅实行全装修,2020年新建高层、小高层住宅淘汰毛坯房。

到2020年,设区城市和县级市装配式建筑占新建建筑的比例分别达到30%、15%。《山东省绿色建筑与建筑节能发展“十三五”规划(2016~2020年)》。《规划》明确,要强力推进装配式建筑发展,大力发展装配式混凝土建筑和钢结构建筑,积极倡导发展现代木结构建筑,到规划期末,设区城市和县级市装配式建筑占新建建筑的比例分别达到30%、15%。

青岛市积极推进建筑产业化发展。对于装配式钢筋混凝土结构、钢结构与轻钢结构、模块化房屋三类装配式建筑结构体系,棚户区改造、工务工程等政府投资项目,要进行先行先试,按装配式建筑设计、建造,并逐步提高建筑产业化应用比例;同时,“争取每个区市先开工一个建筑产业化项目,并将其作为试点示范工程。”

设立建筑节能与绿色建筑发展专项基金:建筑产业现代化试点城市奖励资金基准为500万元。装配式建筑示范奖励基准为100元/m²,根据技术水平、工业化建筑评价结果等因素,相应核定奖励金额;“百年建筑”示范奖励标准为100元/m²。装配式建筑和

“百年建筑”示范单一项目奖励资金最高不超过 500 万元。其中，示范方案批复后拨付 50%，通过验收后再拨付 50%，资金主要用于弥补装配式建筑增量成本。

1.4 预制混凝土结构连接的分类

国外提出的连接分类——1997 年美国统一建筑规范（UBC97），将框架连接简化为两类：整体连接和强连接。整体连接顾名思义连接为一整体，包括各种连接，其性质类似于现浇式。所谓“强连接”，是指预制构件的连接部位的抗弯能力较强，地震作用下当构件中指定的非线性区域出现弹塑性变形时，连接部位仍能保持弹性。新西兰将框架节点的连接形式分为 4 种：预制连续梁穿过现浇柱、现浇混凝土柱与预制混凝土梁、预制 T 形梁与现浇柱、预制预应力混凝土构件与预制 U 形薄壁梁的连接。

国内提出的连接方式分类——2009 年，深圳市住房和建设局发布的《预制装配整体式钢筋混凝土结构技术规范》提出的预制混凝土的连接方式分类为：叠合梁的连接，柱、剪力墙的连接，叠合板的连接，楼梯板的连接，预制外墙挂板的连接。2014 年，《装配式混凝土结构技术规程》主要推荐在美国认为是机械连接的钢筋套筒灌浆连接技术和我国本土根据国情自主研发的浆锚搭接技术，采取合理、适当的措施可以实现等同于现浇的要求。主要预制构件间及其主体结构常用的连接形式如表 1-1 所示。

主要预制构件间及其与主体结构间常用的连接形式 表 1-1

连接节点	连 接 方 式	
梁-柱	干式连接:牛腿连接、钢板连接、螺栓连接、焊接连接、企口连接、机械套筒连接等	湿式连接:现浇连接、浆锚连接、预应力技术的整浇连接、后浇整体式连接、灌浆拼装等
叠合楼板-叠合楼板	干式连接:预制楼板与预制楼板之间设调整缝	湿式连接:预制楼板与预制楼板之间设后浇带
叠合楼板-梁(或叠合梁)	板端与梁边搭接,板边预留钢筋,叠合层整体现浇	
预制墙板和主体结构	外挂式:预制外墙上部与梁连接,侧边和底边仅作限位连接	
	侧连式:预制外墙上部与梁连接,墙侧边与柱或剪力墙连接,墙底边与梁仅作限位连接	
预制剪力墙与预制剪力墙	浆锚连接、灌浆套筒连接	
预制阳台-梁(或叠合梁)	阳台预留钢筋与梁整体浇筑	
预制楼梯与主体结构	一端设置固定铰,另一端设置滑动铰	
预制空调板-梁(或叠合梁)	预制空调板预留钢筋与梁整体浇筑	

1.5 装配式混凝土建筑主要技术体系

目前，装配式混凝土技术体系从结构形式主要分为框架结构、框架-剪力墙结构、剪力墙结构、框架-核心筒结构等。

(1) 装配式混凝土框架结构

连接节点单一、简单，结构构件的连接可靠并容易得到保证，方便采用等同现浇的设计概念。框架结构布置灵活，容易满足不同预制功能需求；结合外墙板、内墙板及预制楼板或预制叠合楼板应用，预制率可以达到很高水平，适合建筑工业化发展。由于技术和使用习惯等原因，适用于低层、多层建筑。

(2) 装配式框架-剪力墙结构体系

兼有框架结构和剪力墙结构的特点，体系中剪力墙和框架布置灵活，易实现大空间、适用高度较高；可以满足不同建筑功能的要求，可广泛应用于居住建筑、商业建筑、办公建筑、工业厂房等。

(3) 装配式剪力墙结构体系

装配整体式剪力墙结构应用较多，适用建筑高度较大；目前，叠合板剪力墙主要应用于多层建筑或者低烈度区的中高层（一般不超过7度半）；多层剪力墙结构目前应用较少，但基于其施工高效、简便的特点，在低层、多层建筑领域中前景广阔。

不同结构体系的主要预制构件如表 1-2 所示。

装配整体式结构的主要预制构件 表 1-2

结构体系	主要预制构件
装配整体式框架结构	叠合梁、预制柱、叠合楼板、预制外挂墙板、叠合阳台、预制楼梯、预制空调板等
装配整体式剪力墙结构	预制剪力墙板、预制外挂墙板、叠合梁、叠合阳台、预制楼梯、预制空调板等
预制叠合剪力墙结构	预制叠合剪力墙墙板、预制外挂墙板、叠合梁、叠合楼板、叠合阳台、预制楼梯、预制空调板等
装配整体式框架-现浇剪力墙结构	叠合梁、预制柱、叠合楼板、预制外挂墙板、叠合阳台、预制楼梯、预制空调板等

注：对于预制构件，要区分“预制率”与“装配率”，“预制率”是装配混凝土结构住宅建筑单体 0.000m 以上的主体结构 and 围护结构中，预制构件部分的混凝土用量占对应部分混凝土总用量的体积比。而“装配率”是装配式混凝土结构住宅建筑中预制构件、建筑部品的数量（或面积）占同类构件或部品数量（或面积）的比率。

1.6 装配式建筑主要瓶颈和问题

一是顶层制度设计欠缺；二是技术体系与标准规范滞后；三是新型结构技术体系不够成熟；四是产业链能力较弱；五是部分地区主管部门和从业者认识不足；六是中西部地区普遍缺乏产业发展基础。对于未来装配式建筑的发展思路，首先是加大经济政策支持力度、加快技术政策统筹规范；同时，政府性投资项目要先行试点，积极引领市场化推进，以城市为主体全面系统推进；最后，要加大力度培育产业化基地企业建设，加强行业培训，鼓励企业转型升级。

从技术体系角度来看，目前还没有形成适合不同地区、不同抗震等级的要求的结构体系安全、围护体系适宜、施工便捷、工艺工法成熟、适宜规模推广的技术体系，设计全装配及高层框架结构的研究和实践不足，与国外差距较大；装配式建筑隔震减震技术及高强

材料和预应力技术有待深入研究和应用推广。从结构设计角度看,主要借鉴日本的“等同现浇”的概念,以装配整体式结构为主,节点和接缝较多且连接构造比较复杂。对材料技术和结构技术的基础研究不足,由于装配式建筑仍处于发展初期,其实际使用效果、材料的耐久性、建筑外墙节点的防水性能和保温性能、结构体系抗震性能都没有经过较长时间的检验。

2 装配式剪力墙结构设计概述

2.1 装配式混凝土结构中的设计思维探讨——“加与减”及“分与合”

装配式混凝土结构是“拼装”而成，不符合现浇混凝土结构概念设计的两个重要原则——“连续”与“均匀”，不连续的地方应加强，加上建厂、设备等其他费用，在相当长一段时间内，其造价必然会比传统混凝土结构要高。但是，装配式混凝土结构具有绿色、节能、环保等很多优点，当人工、环保、政策、技术、工艺、材料等边界条件形成时，装配式混凝土结构是建筑发展的必然趋势与结果。

(1) 结构体系

土木工程经过多年的发展，取得了很大进步，对于混凝土结构，常见的体系有：框架结构体系、剪力墙结构体系、框架-剪力墙结构（框架-筒体结构）体系、板柱-剪力墙结构、异形柱结构体系、筒中筒结构体系、多筒体系等；也有一些组合的体系，比如底框结构体系、组合结构（混合结构）体系等；还有空心楼盖、预应力结构等。在众多体系中，如果仔细研究其规律，会发现其并不复杂，主要体现在三个方面，分别为：不同截面形状的刚度、力流传递形式选择（拉、压、弯等）、物尽其用，然后借助“加与减”及“分与合”两种思维去串起来，形成不同的结构体系。

对于混凝土结构：正方形或矩形的柱子与梁采用“合”的思维在一起，形成了框架结构体系；需要更大的刚度时，采用“分”的思维，把截面“分”成长扁形，与梁“合”在一起，形成了剪力墙结构体系；有了框架结构体系，与剪力墙结构体系，分别取部分，采用“合”的思维，于是有了框架-剪力墙结构（框架-筒体结构）体系；有了剪力墙结构体系，对于多层与小高层，需要较小的刚度时，采用“减”的思维，减小剪力墙的长度，于是有了异形柱结构体系、短肢剪力墙结构体系；水平力、竖向力在其传递过程中，力会以拉、压、弯等形式传递，并且分配到不同的构件，当取消主次梁，力采用“分”的思维，部分弯矩由板带去抵抗时，有了板柱-剪力墙结构体系；根据材料力学中应力的分布规律，达到“物尽其用”的效果，采用“减”的思维，于是有了空心楼盖、空心墙柱；对于普通楼板及主次梁，其纵向钢筋的总拉应力有一个上限值，采用“加”的思维，提前施加压力，于是有了预应力结构；水平力传递时，除了以受弯的形式传递（力 $\times$ 力臂）外，也可以以拉压的形式传递，于是有了桁架结构体系，有了支撑结构，采用了力“分”的思维。混凝土结构体系、钢结构体系、预应力结构、空心结构、隔震、耗能件等，借助“加与减”及“分与合”两种思维去串起来，通过不同的组合方式，或许又会产生新的结构体系。一个体系中构件的布置，会有最优经济平衡点，比如什么时候采用叠合楼板、预应力叠合板、预应力空心叠合板等。

现在,市场主推的装配式混凝土体系包括:中民筑友科技集团的“整体干法连接墙板体系”、南京大地建设集团有限责任公司“预制预应力混凝土装配整体式框架结构体系”;远大的“内浇外挂”体系;中民筑友科技集团有限公司、中南集团“全预制装配整体式剪力墙结构(NPC)体系”;北京万科企业有限公司的“装配整体式剪力墙结构体系”;西伟德宝业混凝土预制件(合肥)有限公司的“叠合板装配整体式混凝土结构体系”;台湾润泰集团的“预制装配式框架结构”;黑龙江宇辉建设集团的“预制装配整体式混凝土剪力墙结构体系”等。

(2) 结构布置

结构布置采用“减”的思维,减少次梁的个数;采用“加”的思维,采用大跨度的楼板;总的原则“外强内弱”,可以减少墙、柱、梁、板等构件的个数。结构布置时,传力应尽可能均匀,通过改进,采用“加”的思维,采用双向叠合楼板或双向预应力叠合楼板等。

(3) 构件设计

采用“合”的思维,将装配式构件和绿色功能融合、集成。采用“合”的思维,将外墙板装饰、保温、承重一体化,提高保温性能及耐久性;采用“合”的思维,将成品门窗与预制墙板一体化连接。

(4) 模块化与模数化

采用“分”的思维,装饰与主体结构分离,整体厨房、整体卫浴和整体收纳三大模块化部品均采用标准化设计,统一定型尺寸,便于生产和安装。

(5) 采用“减”的思维,户型尽可能一致,形成模块,能最大程度地提高构件重复使用率,减少模具的个数,降低造价与节省工期。

不能仅停留在“轴线尺寸满足规范要求”这个最初级阶段,工程实施过程中有很多因模数协调没有考虑而导致的情况。比如,机电管线的预埋与结构配筋之间由于没有考虑模数,出现了“碰撞”情况。通过模数化配筋并结合模数化配线,确保了“碰撞”问题的解决。采用“减”的思维,楼板尺寸应模数化,尽可能地减少预制楼板的种类。采用“减”的思维,减少墙柱纵筋根数与套筒个数,增大纵筋直径与其间距。

(6) 工艺深化设计

装配式混凝土结构进行工艺深化设计时,应该预留一定的空间,截面采用“减”的思维,保证不同构件的正常拼装。在拼装时,内隔墙与上层板底及相连预制内隔墙之间一般会留有20mm宽度的缝。

装配式混凝土结构进行工艺深化设计时,应采用“合”的思维去拼装,承受竖向力与水平力的上下层墙柱之间用灌浆套筒连接,主要是靠粘结力传力;承受竖向力与水平力的在同一个平面的剪力墙之间,通过一段较小长度的后浇混凝土连接,主要是靠粘结力传力;内隔墙与其垂直相交的内隔墙或预制外墙之间用“套筒+盒子”连接,主要是靠套筒与盒子之间的摩擦力传力;预制内隔墙与上层板在竖向通过“插筋”连接,主要是靠粘结力传力;阳台外隔墙顶部通过开槽“预留钢筋”与垂直相交的顶部相邻的楼板现浇混凝土连接,主要是靠粘结力传力;阳台外隔墙底部及与其垂直相交的外隔墙之间,通过开槽设置角钢及套筒与底部相邻的楼边相连,主要是靠套筒与角钢之间的摩擦力传力。

采用“分”的思维,借鉴SI分离式的设计思想,让结构与机电、内装适度分离,

即最重要的工作是使得工作简化,在复杂建筑系统中寻求最科学、最合理的系统性解决方案。建筑、结构、机电与内装适度分离,有利于构件标准化设计需求,减少引起标准化复杂化的因素,让工作尽量简化,不为自己制造障碍。让结构解决结构的问题、机电处理机电的问题、内装完善内装的事情,专业间能够相互协调即可,完全没必要纠缠在一起。

装配式混凝土结构的节点,最终都归结到一个词语——“力分配”。混凝土结构中钢筋能够传力,主要是依靠钢筋和混凝土之间的粘结锚固作用,预制构件与预制构件之间如果没有现浇混凝土与钢筋之间的粘结力,一般靠螺栓与构件之间的摩擦力传力。

粘结力与摩擦力的大小与很多因素有关,粘结力与钢筋的形状(直锚、直锚+弯锚、直锚+端板等)、锚固钢筋的外形、混凝土强度等级均有关;摩擦力与螺栓等级、摩擦系数等均有关。粘结力与摩擦力的设计思维是“分”,通过采用不同形状的钢筋、端板与不同的构造,“分”到不同的部位,从而形成不同的节点。

节点的形成,与“空间”有很大关系。可以预留足够空间,通过现浇混凝土与钢筋形成支座与粘结力;也可以借物,通过牛腿或者挑出的“垛”形成空间,通过第三物“连接板”形成支座关系。

(7) 发展方向

采用“合”的思维,建筑工业化在一个大平台系统下,会出现“三个一体化”:建筑、结构、机电、装修一体化;设计、加工、装配一体化;技术、管理、市场一体化。

2.2 结构与易经

中庸之道,阴阳之道,是一个平衡与不平衡、再平衡的过程。易经的转化,符合量变质变转换规律。不平衡才发展,阴阳生万物,但再平衡,协调平衡更是道。

1. 结构与易经中的两仪、四象、八卦规律

(1) 从盘古开天地时,所有都是混沌,是无极。随着时代的发展,历史的向前,产生了太极,即平衡的悬臂梁构件。平衡生两仪,阴阳,在结构设计中即:加与减,分与合;两仪生四象(在设计思维组合下),即梁构件、板构件、墙构件、柱构件。随着材料的不同,每个构件都有三个基本要素:长宽高,不同的组合,产生了各种体系:框架结构体系、少量剪力墙的框架结构体系、框架-剪力墙结构体系、少量框架的剪力墙结构体系、带转换层的复杂高层结构、框支剪力墙结构、大底盘多塔结构、钢框架结构、桁架结构、网架结构、门式刚架结构等。

(2) 无极是混沌,随着时代的发展,历史的向前,产生了太极,即平衡。平衡生两仪,阴阳,在结构设计中即:加与减,分与合;两仪生四象(在设计思维组合下),即两端固结梁模型、简支梁模型、一端固结一端简支梁模型、悬臂梁模型;随着四象的不断组合,形成了各种梁模型。

(3) 无极是混沌,随着时代的发展,历史的向前,产生了太极,即平衡。平衡生两仪,阴阳,在结构设计中即:加与减,分与合;两仪生四象(在设计思维组合下),即拉压、弯矩、剪力、扭矩;随着四象的不断组合,形成了小偏心受拉、小偏心受压、大偏心