

装配式结构设计实践

潘正扬

华商国际工程有限公司, 北京 100069

[摘要] 装配式建筑是由预制部品部件在工地装配而成的建筑, 具有六大特点: 标准化设计、工业化生产、装配化施工、一体化装修、信息化管理、智能化应用。装配式建筑可充分发挥预制部品部件的高质量优势, 实现建筑标准的提高, 通过发挥现场装配的高效率, 实现建造综合效益的提高, 发展装配式建筑是建筑业建造方式的变革, 也是实现绿色建造、绿色发展的一部分。此文主要从政策解读、装配率计算、混凝土装配式结构设计、装配式建筑配合等方面总结装配式结构在实践过程中的经验。

[关键词] 装配率; 构件拆分; 施工配合

DOI: 10.33142/aem.v5i5.8660

中图分类号: TU246

文献标识码: A

Design Practice of Prefabricated Structures

PAN Zhengyang

Huashang International Engineering Co., Ltd., Beijing, 100069, China

Abstract: Prefabricated building is a building assembled by prefabricated components on the construction site, which has six characteristics: Standardized design, industrial production, prefabricated construction, integrated decoration, information management, and intelligent application. Prefabricated building can give full play to the high quality advantages of prefabricated components to improve the building standards. By giving full play to the efficiency of on-site assembly, it can improve the overall efficiency of construction. The development of prefabricated building is a change in the construction mode of the construction industry, and also a part of achieving green construction and green development. This paper mainly summarizes the experience of prefabricated structure in practice from the aspects of policy interpretation, assembly rate calculation, concrete prefabricated structure design, prefabricated building coordination, etc.

Keywords: assembly rate; component splitting; construction cooperation

1 装配式建筑特点

1.1 何为装配式建筑

根据《装配式建筑评价标准》GB/T51129-2017, 装配式建筑是一个系统工程, 是将预制部品部件通过系统集成的方法在工地装配, 实现建筑主体结构构件预制, 非承重围护墙和内隔墙非砌筑并全装修的建筑。它包括装配式混凝土建筑、装配式钢结构建筑、装配式木结构建筑及装配式混合结构建筑等。

类似于门刚结构有四大系统(主刚架系统、屋盖围护系统、墙面围护系统、支撑系统), 装配式建筑也有四大系统, 分别是结构系统、外围护系统、设备与管线系统、内装系统。结构系统对应于快建系统(快速建造), 发展相对完善; 后面三个系统对应于快装系统(快速装修), 发展相对滞后, 尤其是后两个, 其中设备与管线系统对应于管线分离; 今后内装发展迅速, 是装配式发展的风口, 这体现在评价标准中弱化了结构系统所占的权重, 对于主体结构, 最低分值要求降低。

1.2 装配式混凝土结构

根据《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T51231-2016, 装配式混凝土结构是指由预制混凝土构件通过可靠的连

接方式装配而成的混凝土结构; 装配整体式混凝土结构是指由预制混凝土构件通过可靠的连接方式进行连接并与现场后浇混凝土、水泥基灌浆料形成整体的装配式混凝土结构, 简称装配整体式结构。从概念上解读, 装配式混凝土结构包含装配整体式混凝土结构, 至于其他形式, 规范未提及。

现代装配式建筑的六大特点: 标准化设计、工业化生产、装配化施工、一体化装修、信息化管理、智能化应用。

标准化设计: 模块化是标准化设计的一种方法, 通过模数化和模块化的设计为工厂化生产和装配化施工创造条件; 少规格、多组合是装配式建筑设计的重要原则, 减少部品部件的规格种类及提高部品部件模板的重复利用率, 有利于部品部件的生产制造与施工, 有利于提高生产速度和工人的劳动效率, 从而降低造价, 因此装配化设计理念应前置, 方案阶段即开始。

信息化管理: 建筑信息模型技术是装配式建筑建造过程的重要手段。通过信息数据平台管理系统将设计、生产、施工、物流和运营等各环节联系为一体化管理, 对提高工程建设各阶段及各专业之间协同配合的效率, 以及一体化管理水平具有重要作用。

1.3 装配式建筑相关政策

2016年2月6日,中共中央、国务院印发了《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》。明确提出:大力推广装配式建筑,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%。针对以上文件,各地陆续出台了相应的政策,且在不断更新中。

各级政府文件均按照以下思路,参照国务院政策,将各地区分为重点推进区、积极推进区、鼓励推荐区。划分标准为各地工业化程度,工业化程度越高,推进力度越大。

实施意见主要包含以下内容:工作目标(发展速度)、实施范围(用地性质、建设规模)、实施标准(装配率)、重点工作任务(8大任务)、保障措施(技术、政策)。

对于设计人员来说,实施意见(计算细则)是我们应当关注的,除此之外,还应当熟悉装配式建筑施工图审查要点、评价标准、相关规范和图集。

2 装配率计算

2.1 规范规定

随着新国标《装配式建筑评价标准》(GB/T51129-2017)发布,各地评价标准和计算细则大致相同,以北京市为例。根据北京市地方标准《装配式建筑评价标准》DB11/T 1831-2021,装配率是指单体建筑室外地坪以上的主体结构、围护墙和内隔墙、装修和设备管线等采用预制部品部件及加分项的综合比例。《评价标准》阐述了装配式建筑的三个主要问题:

(1) 基础规定:第3.0.1~3.0.3条;

重点关注以下几个方面:①由主楼与裙房组成的建筑或多个主楼由裙房连成一体的建筑,当出现主楼与裙房在建筑功能、结构体系、预制建筑部品部件类型有较大差异等情况时,裙房可选择单独按一个单体建筑进行评价。如主楼是公寓、裙楼是商业,主楼采用装配式混凝土结构、裙楼采用钢结构,等等。主楼与裙房间采用不同评价单元划分的边界应选在主楼标准层正投影线以外;②凡装配式建筑必须进行专家审查;③装配率最低得分为50分。

(2) 评分表:第4.0.1条

评分表传递三个简单信息:①主体结构最低分值较低,弱化主体结构在装配式建筑中的比重,突出装配式建筑中的“建筑”这一概念,即通过建筑设计、装修、设备管线等手段达到装配式建筑标准;②明确取消构件预制率这一概念;③明确各专业在装配式建筑中的具体分工,即结构专业主要是预制结构构件,包括水平和竖向构件;建筑专业主要是围护墙和内隔墙非砌筑、免抹灰;设备专业主要是管线分离、干法施工;装修专业主要是全装修或者装配化装修。全装修是指建筑功能空间的固定面装修和设备设施安装全部完成,达到建筑使用功能和性能的基本要求。

(3) 分级标准:3.0.4~3.0.5条

分级标准有两点要注意:

①装配率为50%~60%时,是装配式建筑,但没有资格评级;

②竖向构件预制应用比例不低于35%的,才有评级资格。

以上为装配式评价标准的几个主要内容,各地的评价标准各不相同,大同小异,设计时需以当地政策文件为准,兼顾国标。

2.2 装配率计算

作为结构专业,重点关注主体结构的装配率得分计算。主体结构预制部品部件的应用比例,对于竖向结构来说,以体积计算,其中预制梁柱节点体积可计入;对于水平构件来说,以面积计算。

解读评分表,竖向构件评价要求最高与最低差45%,而分值差10分;水平构件评价要求最高与最低差10%,分值也差10分,因此相对来说,提高水平构件的预制应用比例效率远高于竖向构件。分析最低分值,最低分相加总和等于36分,而装配率最低要求50分,剩余14分如果可以,宜从竖向构件中获得。

另外,装配率计算,水平构件计算公式中分母面积,指平面内扣除竖向构件、电梯洞口的房间内“净面积”计算。

管线分离,指的是与建筑隔墙、结构构件完全分离,不穿洞。

3 装配式整体式混凝土框架结构设计

3.1 方案阶段

a. 方案评审深度要求:

方案评审主要包括以下内容:

- (1) 装配式建筑设计概况
- (2) 装配式建筑施工总平面分析
- (3) 产业化预制构件和节点连接选用
- (4) 装配式建筑设计要点
- (5) 装配式结构实施方案
- (6) 装配率统计

b. 方案评审至少包含5名专家:设计、施工、预制构件制作

c. 评审会上容易提出的意见:

- (1) 装配率控制标准问题
- (2) 关于施工配合考虑(道路、堆场、塔吊)
- (3) 关于预制水平构件拆分位置及原则的问题(单向板、双向板、拆分部位)
- (4) 关于预制竖向构件种类问题(强调单体之间构件的通用性)
- (5) 连接节点标准化的问题(此阶段建议直接选用图集做法)

d. 方案阶段加强与施工单位的配合

- (1) 待建场地内运输道路规划
- (2) 起重机械(塔吊)选型定位、塔吊附着点
- (3) 预制构件存放场地

3.2 产业化实施范围

产业化的实施范围既要满足相应的装配率的要求,又要结合工程实际考虑构件制作的难度,在“合适的部位”实施装配式,不能“强行拆分”,“硬着头皮上”。

产业化实施范围的大原则是要强调遵循具体项目的行政审批结论和专家评审会决议。在细节方面,为了增加结构抗震整体性,以下部位宜采用现浇:

(1)嵌固部位楼板需要现浇(地下室顶板需要现浇);

(2)首层顶板、屋面板、合用前室部位建议做现浇板;

(3)同层排水的卫生间部位现浇,这样可以减小设计和构件制作的难度。关于卫生间有两个误区:一是凡是卫生间就需要做结构降板,因卫生间面层最小可以做到70~80mm,与普通面层100mm差20mm左右,刚好满足卫生间防水要求;二是做了结构降板就不能采用预制构件,这种情况下可整跨都降,其余部分再用垫层垫回来;

(4)电梯筒、楼梯间、公共管道井、通风排风竖井部位剪力墙建议做现浇;

(5)框架结构的首层柱宜采用现浇混凝土;

(6)屋顶机房层、楼梯间做现浇。

(7)需要现浇的柱:

①楼梯间半层平台处柱、坡道处柱需现浇;

②大跨框架部位柱,单榀框架柱应现浇;

③多梁(≥ 5)交会处的框架柱宜采用现浇;

④配筋较大,钢筋套筒排放不开;配筋较大与上层或下层预制柱无法连接时采用现浇。

⑤跃层柱、单跨框架柱等特别重要的柱宜现浇;

⑥出现拉应力的框架柱应现浇;

⑦与上翻梁相连的框架柱不宜预制;

⑧框架结构首层柱宜采用现浇。

(8)需要现浇的梁:

①为减少次梁与主梁的连接节点,尽量减少次梁的设置。

②受扭矩较大的梁宜采用现浇

③重量较大,无法吊装的梁采用现浇

3.3 整体计算

3.3.1 整体计算

宏观体型控制及抗震等级要求:

类似于现浇建筑,装配式建筑有其自己的最大适用高度、高宽比限值、建筑体型等要求;并且同样需要对结构规则性进行判别、确定结构抗震等级。

(1)最大适用高度:《装配式混凝土建筑技术标准》(GB/T51231-2016)第5.1.2条规定了不同结构形式的最大适用高度,通过本条可以得出,当框架和剪力墙共同存在时,剪力墙一定是现浇的,否则就是超限,非常规结构形式,需报送超限审查。但框剪结构由此可能导致竖向构件预制率不达标,所以这是个矛盾的问题;

(2)高宽比:高宽比是反映结构刚度、整体稳定、承载能力、经济性的综合指标,在满足承载能力极限状态

和正常使用极限状态的条件下,高宽比并非强制指标,控制高宽比主要目的是控制结构的经济性;

(3)体型控制:北京地标规定装配式剪力墙结构伸缩缝最大间距不宜大于60m;

(4)规则性判定:不规则建筑应按规定采取加强措施;特别不规则建筑应进行专门的研究和论证,采取特别的加强措施;严重不规则的建筑不应采用。

3.3.2 荷载导算注意事项

材料容重应依据《荷载规范》或者实际情况确定(隔墙可采用加气混凝土条板《13J104》、轻钢龙骨石膏板),单向板应单独复核其承载力。

3.3.3 计算指标控制要求

等同现浇。

3.3.4 计算参数设置要求

可以采用satwe或YJK的普通模块进行装配整体式结构的整体计算,并辅以必要的补充计算和复核算。建模过程中需指定预制构件。关于地震效应放大1.1倍的规定需明确以下两点,一是从预制竖向构件的起始层才有1.1倍放大大一说;二是1.1倍放大只针对现浇竖向构件。

3.4 装配整体式框架设计和现浇框架的不同

3.4.1 模型个别参数选用

《装标》5.3.3条,内力和变形验算时,应计入填充墙对结构刚度的影响,当采用轻质隔墙板填充墙时,可采用周期折减的方法考虑其对结构刚度的影响,框架结构取0.7~0.9(现浇为0.6~0.7)

3.4.2 计算内容

装配式框架除完成现浇模型计算外,还要对叠合梁端、预制柱底等进行接缝抗剪强度验算,计算模型中构件保护层厚度不同。

3.4.3 地震设计状况

当同一层内既有预制又有现浇抗侧力构件时,地震设计状况下宜对现浇抗侧力构件在地震作用下的弯矩和剪力进行适当放大。

3.4.4 设计理念

(1)预制柱矩形截面柱边长不宜小于400mm,圆形截面柱直径不宜小于450mm,且不小于同方向梁宽度的1.5倍。(有利于构件统一和钢筋排布);

(2)钢筋直径大、间距大。《装标》5.6.3规定,柱纵向受力钢筋的直径不宜小于20mm,纵向钢筋间距不宜大于200mm,不应大于400mm。

3.4.5 楼板对梁刚度影响

对现浇楼板和叠合楼板均可按高规近似取1.3~2.0的放大系数;无现浇层的装配式楼盖对梁刚度增大作用较小,可忽略不计。预制板之间采用整体式接缝,则考虑预制板整体对梁刚度贡献,若预制板之间接缝不连接,仅考虑现浇部分对楼面梁刚度的贡献。

3.4.6 构件层面复核验算

对等同现浇设计原则的理解:等同现浇的设计初衷是通过保证拼接质量达到的。此处所指的拼接主要有平面拼缝(如:预制墙顶后浇带、预制墙体底座浆、叠合楼板板缝等)和竖向拼缝(如:后浇边缘构件),规范图集中对连接部位复核验算(包括抗剪验算、1.1倍调整)、构造做法、连接尺寸要求。接缝配筋要求,接缝材料要求等都是为了保证拼接质量而提出的具体措施。

目前我国直螺纹连接技术已经非常成熟。

3.4.7 主体结构装配率计算的基本步骤

(1)统计项目的基本情况(如层高、竖向和水平预制构件层数、预制楼梯层数等)

(2)统计标准层预制竖向构件编号及详细信息(统计对象:内叶板、外叶板、预制内墙)

(3)统计标准层预制水平构件编号及详细信息(统计对象:板类构件的预制层、预制楼梯[查表即可])

(4)统计采用装配式技术的出屋面特殊部位信息(统计对象:预制女儿墙、出屋面预制外墙)

(5)统计全楼混凝土用量

3.4.8 装配率得分的相关考量

(1)只做预制水平构件(叠合楼板、预制楼梯、预制阳台板、预制空调板)最高得15分,满足最低分值要求。

(2)若采用预制竖向构件,则其应用比例至少要达到35%才能得分

(3)为了达到50%的装配率,理论上并非一定要做预制竖向构件,可以通过装配式装修、管线分离等其他技术实现。

3.4.9 装配式建筑对设计单位的影响

(1)细节要求更加突出,注重钢筋排布、节点构造《G310-1~2》

(2)设计周期及图纸量明显增加

(3)需要了解构件厂、工地现场情况

(4)设计院更加注重打造自身的产品库

(5)催生一些装配式建筑相关的咨询类业务

4 水平构件设计

拆和拼是装配式建筑设计的主线,拆是贯彻标准化设计、贯彻结构概念的过程;并需要关注的是钢筋排布、可实施性、能否使构件之间实现达到既定的受力状态。《装配式混凝土建筑技术标准》(GB/T51231-2016)第4.3节,详细表述了标准化设计。模数协调是从轴网、户型方面进行前端控制,开间柱距采用2m或者3m(不推荐3100的轴网),梁柱墙、层高、门窗洞口采用1m(不推荐350的梁)。关于叠合板尺寸标准化的问题:叠合板的宽度尽可能地采用1200/1500/1800/2000/2400为控制尺寸,其他尺寸也是可以用的。

叠合板拆分时,优先选用大板块(控制净尺寸相同,

通过板缝、搭接来调整),这样可以减小板块数(减小吊装),对于个别异形区域,可以采用现浇。

叠合板拆分时应注意以下几点:

(1)叠合板是单向板还是双向板,是依据房间单元本身属性。确定板块划分形式以后,结构计算中应当根据实际的板块划分情况调整荷载传导方向。

(2)单向板缝宽40~200mm,非受力方向钢筋伸入拼缝的长度=缝宽-10mm;缝内沿受力方向设置构造钢筋。

(3)双向板拼缝宽度:GB/T51231-2016第5.5.4条:板缝属于受力构件,满足锚固搭接要求,同时位置宜避开最大弯矩截面。双向板板缝不小于300mm

(4)合理确定板厚:整体板厚由预制层和现浇层构成,预制底板最小厚度需考虑:脱模、吊装、运输、施工等因素。脱模起吊是最不利受力工况,完成脱模起吊是对预制构件的实际检测。现浇层最小厚度需考虑:楼板整体性、管线预埋、面筋铺设、施工误差等因素。

叠合楼板的总厚度对于单向板不小于 $L/30$,双向板不小于 $L/40$ 。以60mm+70mm的叠合楼板为例,单向板的最大跨度宜控制在3.9m以内,双向板的最大跨度宜控制在5.2m以内。

对大跨度板或重荷载应特别注意复核挠度、裂缝、配筋的合理性,必要时建议加大预制底板的厚度,当叠合板总厚度加大时(由于跨度的原因增大),预制底板和现浇层的厚度也应相应匹配。

5 设计与各方配合

5.1 设计院内各专业的配合要点

装配式建筑中的各专业预留、预埋条件最终是要反映在“预制构件详图”中(即反映到结构专业的图纸上,反映到预制构件的加工图纸上)但结构专业在预制构件点位、孔洞留置方面是处于“被动状态的”,在设计院的各专业之间形成良好的合作制,对图机制、互提条件的责任机制对工作的顺利开展尤为重要。

作为结构人员需要知道“问谁要什么条件”;作为其他专业(主要指设备、电气、精装)应该做到“所提条件清晰可辨认,并对建筑、结构专业进行必要的交底,配合后期对图调整”。

结构图纸中的预留预埋建议先在平面图中完成,并进行第一轮对图,确认无误后(无重大遗漏、缺项漏项)放入预制构件详图中,随后根据钢筋排布需求对点位进行“微调”(尽可能保证点位),构件详图调整完毕后与各专业进行第二轮反馈,完成此项工作。

5.2 与造价计量部门的配合

一般情况下装配式建筑的用钢量和混凝土含量是比现浇结构要多的,钢筋增量在20%左右,混凝土增量在15%左右。钢筋增量原因:水平构件主要是桁架钢筋,竖向构件套筒范围加密、后浇节点纵筋直径较大,另外竖向构件

还有墙顶后浇带。混凝土增量原因：叠合板厚度。

概预算部门最容易出现的问题有两个：漏计量、重复计量。

漏计量（对总包单位不公）：最可能出现在墙顶的后浇带、后浇圈梁、预制底板接缝等部位，这些部位的表达往往以通用节点形式在图纸中呈现，不熟悉装配式建筑的概预算人员极易忽视。

重复计量（对设计院不公）：最容易出现在预制竖向构件部位；平面图中有墙表、梁表反应构件的配筋情况，而墙表、梁表中的信息和构件详图中的信息是有重复的。预制构件在加工厂是以混凝土的方量计价的，概预算通常也是按此原则进行算量，因此平面中的连梁箍筋、连梁下铁、腰筋等分项已经在预制构件里计算过，切忌重复。

5.3 设计院与构件厂的配合

预制构件的图纸应该有设计图、深化图两个阶段。与建筑等设计口相关的预留预埋条件，建议在设计院的“设

计图阶段”完成。与构件生产工艺、安装工艺、工地现场施工工艺相关的预留预埋条件应由预制构件厂进行深化设计、完成预留预埋。最终的构件生产图纸应该是由构件厂、设计院共同确认的成果文件。

较为严谨的工作流程应该是：

设计院图纸（含预制构件设计图）提交建设方→建设方下发图纸给总包单位→总包下发图纸给构件厂→构件厂反馈深化成果给总包→总包组织各方进行构件深化图绘审确认。

【参考文献】

- [1]徐进前. 装配式连续梁桥暗帽梁的结构设计与施工[J]. 中南公路工程, 2001, 26(1): 3.
- [2]陈子超. 装配式混凝土结构建筑设计研究与实践[J]. 新材料·新装饰, 2023, 5(6): 4.

作者简介：潘正扬（1989.2-），专业：结构设计，职称：中级职称。