

第 1 章 装配式混凝土建筑结构

1.1 装配式建筑

装配式建筑是指建筑主要部分采用预制部品部件通过可靠连接方式建造的建筑。装配式建筑有两个主要特征:①构成建筑的主要构件特别是结构构件是预制的;②预制构件的连接方式必须可靠。按照国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》(GB/T 51231—2016)(以下简称《装标》)的定义,装配式建筑是“结构系统、外围护系统、内装系统、设备与管线系统的主要部分采用预制部品部件集成的建筑。”该定义强调装配式建筑是 4 个系统(而不仅仅是结构系统)的主要部分采用预制部品部件集成。

装配式建筑的部分或全部构件在工厂预制完成,然后运输到施工现场,将构件通过可靠的连接方式加以组装建成建筑产品,主要有装配式混凝土结构、装配式钢结构、装配式木结构 3 种结构形式。装配式建筑除应满足标准化设计、工厂化生产、装配化施工、一体化装修、信息化管理和智能化应用等装配式混凝土建筑施工发展特点及全产业链工业化生产要求外,还应满足建筑全寿命周期运营、维护、改造等方面的要求。

我国预制混凝土结构的研究和应用始于 20 世纪 50 年代,直到 80 年代,预制混凝土结构在工业与民用建筑中才有了比较广泛的应用。90 年代以后,由于种种因素,预制混凝土结构的应用尤其是在民用建筑中的应用逐渐减少,是一个相对低潮的阶段。近年来,由于节能减排的要求,以及劳动力价格大幅度上涨等因素影响,预制混凝土构件的应用开始走出低谷,呈现迅速上升的趋势。国内预制装配式混凝土结构体系的应用也呈现出上升趋势,并且都采用了先进的工业化、机械化生产技术。

装配式建筑具有工业化水平高、便于冬期施工、减少施工现场湿作业量、减少材料消耗、减少工地扬尘和建筑垃圾等优点,有利于实现提高建筑质量、提高生产效率、降低成本、节能减排和保护环境的目的。基于 BIM 技术的全链条信息化管理,实现了设计、生产、施工、装修和运营维护的协同。发展装配式建筑是建筑行业意义重大的变革,而技术体系和标准规范是引领这场变革的重要技术支撑。

1.1.1 装配式建筑分类

1. 按结构材料分类

装配式建筑按结构材料分类,有装配式钢结构建筑、装配式混凝土结构建筑、装配式轻钢结构建筑、装配式木结构建筑和装配式复合材料建筑(钢结构、轻钢结构与混凝土结构结合的装配式建筑)等。以上几种装配式建筑都是现代建筑,古典装配式建筑按结构材料分

类有装配式石材结构建筑和装配式木结构建筑。

2. 按建筑高度分类

装配式建筑按高度分类,有低层装配式建筑、多层装配式建筑、高层装配式建筑和超高层装配式建筑。

3. 按预制率分类

装配式建筑按预制率分类,有超高预制率(70%以上)、高预制率(50%~70%)、普通预制率(20%~50%)、低预制率(5%~20%)和局部使用预制构件(0%~5%)五种类型。

4. 按混凝土结构体系分类

装配式建筑包含的结构类型主要有装配整体式框架结构、装配整体式剪力墙结构、装配整体式框架-剪力墙结构、多层全装配式混凝土墙-板结构和装配式钢结构集成模块化体系等。

1) 框架结构

框架结构是由柱子、梁为主要构件组成的承受竖向和水平作用的结构。框架结构是空间刚性连接的杆系结构,其预制构件主要有预制柱、预制梁、预制楼板等。但由于框架结构的柱网尺寸较大,使预制柱、预制梁的质量过大。因此需根据运输道路情况、吊装条件、经济成本等多方面因素综合确定预制构件。

装配整体式混凝土框架结构因其突出的特点和优势,是应用非常广泛的装配式结构体系,特别是在日本、欧美国家。日本更信任柔性抗震,尤其是混凝土框架结构经历了地震的考验,日本高层、超高层的建筑设计寿命大多数是100年或100年以上,房屋的土地又是永久产权,框架结构因为空间布局的灵活性,可以使不同时代、不同年龄段的居住者根据需要进行户内布置调整。日本住宅往往都是精装修,而且其框架结构都是较大跨结构,普遍达到12m,凸梁凸柱的影响几乎不存在;框架结构的管线布置比较方便。从以上也可以略窥装配整体式混凝土框架结构的特点所在。

我国装配整体式混凝土框架结构主要用于学校、医院、办公楼、停车场、商场等多层或小高层的公共建筑,很少用在住宅中,其原因主要还是抗震的理念,凸梁凸柱损失实用面积、影响观瞻和不方便室内布置等。但随着隔震减震技术的提升和普及,住宅精装修的推广应用,装配整体式混凝土框架结构在住宅中的应用前景将非常广阔。

概括来讲,装配整体式混凝土框架结构固有优势和特点有以下几方面:①装配整体式混凝土框架结构等同现浇,而现浇混凝土框架结构传力途径清晰简洁,其计算分析理论比较成熟;②相比剪力墙结构,框架结构的梁、柱单元更加易于模数化、标准化和定型化,有利于统一的模具在工厂进行流水线制造;③装配式框架结构易于形成大空间,便于满足建筑功能和生产工艺的需要;④空间布置灵活,用户体验较为丰富,可以根据需求调整内部空间,水暖电等管线布置较为方便;⑤预制构件之间连接形式多样,连接节点较简单,种类较少,有利于在现场进行机械化、高效率吊装,构件连接的可靠性容易得到保证;⑥等同现浇的设计理念容易实现;⑦装配式框架结构的单个构件质量较小、吊装方便,对现场起重设备的起重量要求不高;⑧可以根据具体情况制订预制方案,结合外墙板、内墙板、预制楼板及预制楼梯等应用,较容易实现高预制率。可以说,装配整体式混凝土框架结构在建筑工业

化进程中,具有得天独厚的推广应用优势。但装配整体式混凝土框架结构最主要的问题是高度受到限制。按照我国现行规范,现浇混凝土框架结构,无抗震设计时最大建筑适用高度为70m,有抗震设计时根据抗震设防烈度不同,最大建筑高度为35~60m,而装配整体式混凝土框架结构的适用高度与现浇结构基本一致,只是在高烈度区8度(0.3g)地震设防时低了5m。

2) 剪力墙结构

剪力墙结构是由剪力墙组成的承受竖向和水平作用的结构。剪力墙和楼盖一起组成空间体系。剪力墙结构没有梁柱凸入室内空间的问题,但墙体的分布使空间受到限制,无法形成较大空间,因此多用于住宅、宿舍和旅馆等隔墙较多的建筑。就装配式而言,剪力墙结构具有十分明显的优势和适用性,目前我国采用装配式混凝土建筑多为混凝土剪力墙结构。

在国内,装配整体式混凝土剪力墙结构的应用刚刚起步,因地产业的盛行,该结构在实际住宅建筑中应用普遍,但相关的试验和研究却相对滞后。因此,无论是《装配式混凝土结构技术规程》(JGJ 1—2014),还是《装配式混凝土建筑技术标准》(GB/T 51231—2016),对该体系的规范和要求都很谨慎,明确以等同现浇为原则,通过湿式连接的方式加强预制构件之间的连接,强化拼缝的构造措施,使结构性能达到与现浇结构基本相同的目标,同时基于现行的现浇混凝土规范从严控制。

装配整体式混凝土剪力墙结构主要预制构件包括全预制或叠合式的墙板、楼板、连梁、阳台板、空调板以及楼梯等,各构件间通过受力钢筋连接或现浇混凝土连接形成“等同现浇”的整体结构,有效地保证了结构的整体性能和抗震性能,其主要特点有:①将预制构件拆分成以板式构件为主、平板式构件较多,以适于流水线制作工艺,有利于实现自动化生产;②构件在工厂制作,比现浇质量更有保证,板式预制件模具成本相对较低;③装配整体式混凝土剪力墙结构可大大提高结构尺寸的精度和住宅的整体质量;④减少了模板和脚手架作业,提高了施工安全性;⑤外墙保温材料和结构材料复合一体工厂化生产,节能保温效果明显,保温系统的耐久性得到极大提高;⑥石材反打或者瓷砖反打,节省了干挂石材工艺的龙骨费用,也省去了外装修环节,缩短了工期,瓷砖的黏结力大大提高,减小了脱落率;⑦装配整体式混凝土剪力墙结构的构件通过标准化生产,土建和装修一体化设计,减少浪费;⑧户型标准化,模数协调,房屋使用面积相对较高,节约土地资源;⑨采用装配式建造,减少现场湿作业,降低施工噪声和粉尘污染,减少建筑垃圾和污水排放;⑩剪力墙作为主要的竖向和水平受力构件,在对剪力墙板进行预制时,可以得到较高的预制率。

3) 框架-剪力墙结构

框架-剪力墙结构是由柱、梁和剪力墙共同承受竖向和水平作用的结构。在框架结构中增加了剪力墙,弥补了框架结构侧向位移较大的缺点,且只在部分位置设置剪力墙,保留了框架结构体系空间布置灵活的优点。因此,框架-剪力墙结构具有良好的适用性。

装配式框架-剪力墙结构是目前我国广泛应用的一种结构体系,在《装配式混凝土结构技术规程》(JGJ 1—2014)中明确规定,考虑目前的基础研究,建议剪力墙采用现浇结构,以保证结构整体的抗震性能。因此,现阶段这种结构主要以装配整体式框架-现浇剪力墙结

构(简称“装配式框架-现浇剪力墙结构”)为主。

装配式框架-现浇剪力墙结构体系中,框架柱全部或部分预制,剪力墙全部采用现浇。一般情况下,楼盖采用叠合板,梁采用预制,柱可以预制也可以现浇,剪力墙为现浇墙体,梁柱节点采用现浇。预制构件一般有墙(非剪力墙)、柱、梁、板、楼梯等。结构性能与现浇框架等同,整体结构使用高度与现浇的框架-剪力墙结构高度相同。装配式框架-现浇剪力墙结构既有框架结构布置灵活、使用方便的特点,又有较大的刚度和较强的抗震能力,因此可广泛用于高层建筑中。

当装配式框架-现浇剪力墙结构中框架柱也采用现浇时,即所有竖向受力构件现浇、水平构件叠合,这种结构可参考传统现浇混凝土结构的相关标准和规范。由于该结构的可靠性及可实施性较高,故被大规模应用。这种体系的优点在于未改变传统混凝土建筑的结构,能适用现浇混凝土相关的规范,抗震性能好,预制构件标准化程度较高,预制柱、梁构件和楼板构件均为水平构件,生产、运输效率较高。

4) 多层全装配式混凝土墙-板结构

多层全装配式混凝土墙-板结构是指全部的墙、板均采用预制构件,通过可靠的连接方式进行连接。这种结构中预制混凝土墙、板作为竖向承重及抗侧力构件,预制混凝土楼板作为楼盖,施工现场采用干式工法施工。

多层全装配式混凝土墙-板结构的连接方式以盒式连接应用最多。盒式连接是通过预埋在墙板内伸出的预留螺纹钢筋或螺栓套筒与相邻墙板预埋连接盒子中的螺栓连接,之后在连接盒子内填充混凝土,主要用于多层建筑。

我国多层全装配式混凝土墙-板结构是在高层装配整体式剪力墙结构基础上进行简化,并参照原行业标准《装配式大板居住建筑设计与施工规程》(JGJ 1—1991)的相关节点构造,制定的一种主要用于多层建筑的装配式结构。该结构体系构造简单、施工方便、成本低,可在城镇地区多层住宅中推广使用。其预制墙板采用后浇混凝土湿连接,楼板采用叠合楼板,同样属于装配整体式结构类型。多层全装配式混凝土墙-板结构跨度总体较小,室内平面布置的灵活性较差,目前正在向大开间方向发展。

5) 装配式钢结构集成模块化体系

装配式钢结构集成模块化体系是一种标准化、工业化、模块化生产的新型房屋体系。以方钢、角钢、金属连接件为主体结构,围护体系采用模压成型插口式装饰一体盒板。主体框架通过螺栓连接,安拆快捷高效,可以像堆积木一样,通过自由拼装组合成各种不同的房屋类型。

装配式钢结构集成模块化体系的特点是:①符合国家当前推广装配式、发展钢结构建筑的方针政策;②这种体系单位面积自重轻,约为传统钢混结构的 1/3;③绿色环保,每个建筑模块均可整体拆卸循环使用;④现场施工周期短,约为传统建造方式的 30%;⑤建筑模块适合海运、公路联运;⑥可以和任何建筑外墙材料连接,包括玻璃幕墙、铝板和大理石板等;⑦生产能力强,可实现“在车间流水线上制造房子”的目标;⑧建筑应用类型广,可定制设计建造,广泛应用于公寓、酒店、学生宿舍、商业办公等永久性建筑。

1.1.2 装配式混凝土建筑

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,包括装配整体式混凝土结构、全装配混凝土结构等。在建筑工程中,简称装配式建筑;在结构工程中,简称装配式结构。

按照《装标》的定义,装配式混凝土建筑是指“建筑的结构系统由混凝土部件(预制构件)构成的装配式建筑”。

(1) 装配整体式混凝土结构。装配整体式混凝土结构的定义是:“由预制混凝土构件通过可靠的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。”简言之,装配整体式混凝土结构的连接以“湿连接”为主。装配整体式混凝土结构具有较好的整体性和抗震性。目前,大多数多层和全部高层装配式混凝土建筑是装配整体式结构,有抗震要求的低层装配式建筑也多采用装配整体式结构。

(2) 全装配混凝土结构。全装配混凝土结构是指预制混凝土构件以干法连接(如螺栓连接、焊接等)形成的混凝土结构。国内许多预制钢筋混凝土柱单层厂房就属于全装配混凝土结构。国外一些低层建筑或非抗震地区的多层建筑常采用全装配混凝土结构。

根据《装配式混凝土结构技术规程》(JGJ 1—2014)的规定,装配整体式结构房屋的最大适用高度见表 1-1,最大高宽比见表 1-2。

表 1-1 装配整体式结构房屋的最大适用高度 单位:m

结构类型	非抗震设计	抗震设防烈度			
		6 度	7 度	8 度(0.2g)	8 度(0.3g)
装配整体式框架结构	70	60	50	40	30
装配整体式框架-现浇剪力墙结构	150	130	120	100	80
装配整体式剪力墙结构	140(130)	130(120)	110(100)	90(80)	70(60)
装配整体式部分框支剪力墙结构	120(110)	110(100)	90(80)	70(60)	40(30)
装配整体式框架-现浇核心筒结构	150	130	100	100	90

注:房屋高度指室外地面到主要屋面的高度,不包括局部凸出屋面的部分。当预制剪力墙构件底部承担的总剪力大于该层总剪力的 80%时,最大适用高度取表中括号内的数值。

表 1-2 装配整体式结构房屋适用的最大高宽比

结 构 类 型	非抗震设计	抗震设防烈度	
		6 度、7 度	8 度
装配整体式框架结构	5	4	3
装配整体式框架-现浇剪力墙结构	6	6	5
装配整体式剪力墙结构	6	6	5

装配式混凝土框架结构与现浇混凝土框架结构的适用高度是有区别的。通过对装配式混凝土结构规范和现浇混凝土结构规范的比较,可以发现:

- (1) 装配整体式框架结构与现浇混凝土框架结构的适用高度基本相同;
- (2) 装配整体式框架-现浇剪力墙结构(剪力墙现浇、框架部分预制装配)与传统的现浇混凝土框架结构的适用高度相同;
- (3) 同等抗震烈度下,装配整体式剪力墙结构与现浇剪力墙结构的高度相差约 10m;
- (4) 当预制剪力墙构件底部承担总剪力值大于该层总剪力 80%时,装配整体式剪力墙结构与现浇剪力墙结构的适用高度总体相差幅度约 20m。

1.1.3 装配式建筑的发展意义

建筑产业现代化是以绿色发展为理念,以住宅建设为重点,以新型建筑工业化为核心,广泛运用现代科学技术和方法,工业化与信息化深度融合,全面提高建筑工程的效率、效益和质量。

新型建筑工业化是建筑产业现代化的核心,实现建筑产业现代化的有效途径就是新型建筑工业化。新型建筑工业化是以构件预制化生产、装配式施工为生产方式,以“化”(设计标准化、构件部品化、施工机械化)为特征,能够整合设计、生产、施工等整个产业链,实现建筑产品节能、环保、全生命周期价值最大化的可持续发展的新型建筑生产方式。作为新型建筑工业化的核心技术体系,装配式混凝土建筑有利于提高生产效率,节约能源,发展绿色环保建筑,并且有利于保证和提高建筑工程质量。

装配式混凝土建筑的主要特点是生产方式的工业化,具体体现在标准化设计、工厂化生产、装配化施工、一体化装修和智能化管理 5 个方面,从根本上克服了传统建造方式的不足,打破了设计、生产、施工装修等环节各自为战的局限性,实现了建造产业链上下游的高度协同。

装配式建筑具有以下优势。

1. 缩短工期

精确控制进度,有效缩短工期。由于大量的构件都在工厂生产,所以大幅降低了现场的施工强度,甚至省去了砌筑和抹灰工序,缩短了整体工期。

2. 方便施工

具有工业生产优势,能减少现场作业。构件可在工厂内进行产业化生产,施工现场可直接安装,省去了大量支模环节,方便又快捷。

3. 提高质量

构件尺寸精确,建筑品质精良。构件在工厂采用机械化生产,产品质量更易得到有效控制。预制外挂板保温性能较传统建筑的外墙外保温或外墙内保温性能更好,同时解决了传统建筑因为做了外保温而带来的外墙面装修脱落问题。

4. 保护环境

减少施工垃圾,降低噪声影响。由于采用工厂化生产,减少了施工现场湿作业量,使施工现场的建筑垃圾大量减少,因此更环保,同时预制构件的采用节省了大量的模板。

5. 控制成本

降低人工成本,减少材料浪费。构件机械化程度较高,可减少现场施工人员配备。因

施工现场作业量减少,可在一定程度上降低材料浪费。周转料具投入量减少,料具租赁费用降低。

1.2 国内外装配式建筑发展现状

1.2.1 国外装配式建筑发展现状

建筑工业化概念来自欧洲。欧洲的建筑工业化之路可以追溯到 17 世纪。当时欧洲处于军事和殖民区扩展阶段,流动的武装部队需要住宿和储存设备的地方,帐篷是轻质、可运送的结构,而且还可以在短时间内组合和拆卸,装配式的模数化建筑系统就从帐篷开始了。

18 世纪,欧洲军备的需求不断上升,更大、可拆卸的平板型木框架结构得到发展。随着钢铁工业的发展,各种装配式钢框架建筑开始出现。英国人约瑟夫·阿斯帕丁于 1824 年发明了人造水泥,1867 年,法国花匠约瑟夫·莫尼埃从混凝土花盆打碎而盆里的泥土却完整的现象中受到启发,发明了钢筋混凝土,随后钢筋混凝土建筑开始在法国开发应用,同时也有了预制混凝土构件。1875 年,英国人拉塞尔斯提出了一种新的混凝土建造体系,即在承重骨架上安装集成各项功能的预制混凝土外墙板,作为填充墙,标志着预制混凝土开始应用。当时在一家赌场中第一次采用了预制混凝土构件。1896 年研发的第一组模数化的装配式混凝土建筑,就是安装在法国国家铁路上的看守亭。

由此可以看出,装配式建筑基于现实的需要产生,而又受制于建筑材料的开发。装配式混凝土建筑得益于水泥的发明和钢筋混凝土的问世,而钢筋混凝土就是从预制开始的,钢筋混凝土进入建筑领域,也就是预制混凝土构件的开始。

进入 20 世纪,不断有民众涌进欧洲各国的大城市,房屋的短缺现象越来越严重,在贫民区和犹太人区,情况更为恶劣,特别是经历了两次世界大战,欧洲大陆的建筑遭受重创,劳动力资源短缺,亟须一种新的、低成本的建筑方法,以加快住宅的建设速度。装配式混凝土建筑在住宅建设领域的发展出现了时代的契机。

在这样的时代背景下,出现了一批富有强烈社会意识、世界级的著名建筑师,包括瓦尔特·格罗皮乌斯、勒·柯布西耶、弗兰克·赖特、沙里宁、贝聿铭、山崎实、约翰·伍重、皮埃尔·奈尔维等。其中瓦尔特·格罗皮乌斯早在 1910 年就提出:钢筋混凝土应当预制化、工厂化,以大幅度降低建筑成本、提高效率、节约资源。他们越来越清醒地认识到,为帮助建筑工业从根本上更新形式,建筑物应该在工厂里系列化地生产,而且可以做到标准化和预制化,这样就可以按照模数化的原则只在工地现场做装配工作,像生产汽车一样建造房屋。

在这些建筑大师的提倡、引领下,装配式混凝土建筑技术理论日渐充实,装配式混凝土建筑得到大力发展。在这个时期,有代表性的装配式混凝土建筑包括瓦尔特·格罗皮乌斯设计的 59 层纽约泛美大厦,法国建筑师勒·柯布西耶设计的法国马赛公寓、印度昌加迪尔议会大厦,贝聿铭设计的费城社会岭公寓,约翰·伍重设计的悉尼歌剧院,被誉为混凝土诗人的意大利建筑师皮埃尔·奈尔维设计的意大利都灵展览馆、梵蒂冈会堂等。

西方发达国家装配式混凝土建筑发展经过上百年的经验沉淀,日趋成熟、完善,以图 1-1

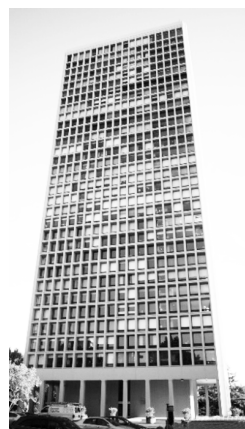
为代表的装配式混凝土建筑,都基于自身的经济、社会、工业化程度,并结合自然环境,选择了适合自己的发展道路和方式。



(a) 纽约泛美大厦



(b) 法国马赛公寓



(c) 费城社会岭公寓



(d) 悉尼歌剧院



(e) 梵蒂冈会堂

图 1-1 装配式混凝土建筑

1. 美国

美国装配式混凝土建筑始于 20 世纪 30 年代,从住宅建筑起步。受到当时有大量需求的汽车房屋的启示,住宅厂家开始研制外观与传统住宅房屋无异,但可由汽车拉运组装的工业化住宅。第二次世界大战后,美国受战争影响较小,所以其发展装配式混凝土建筑的动力,主要来自工业的快速发展和城市化进程的加快。因其具备完善的市场经济制度,所以美国装配式混凝土建筑行业的发展完全由市场机制主导,政府在其中发挥引导和辅助的作用,借助法律手段和经济杠杆来推动。1976 年,美国国会通过了国家工业化住宅建造及安全法案,同时出台了系列严格的行业标准制度(即 HUD 标准),只有满足 HUD 标准,并经第三方检测机构证明的工业化住宅方可出售。该标准沿用至今。1991 年,美国 PCI(预制预应力混凝土协会)年会提出将装配式混凝土建筑的发展作为美国建筑业发展的契机,由此带来装配式混凝土建筑在美国近 30 年的长足发展。目前混凝土建筑中,装配式混凝土建筑占比达 35%。

美国装配式混凝土建筑的关键技术是模块化技术,住宅部品和主体构件生产的社会程度高,构件通用化水平高,基本实现了标准化和系列化,编制有产品目录,呈现出商品化供应的模式。美国装配式混凝土建筑的构件连接以干式连接为主,可以实现预制构件在质量保证年限内的重复组装使用。在结构体系方面,林同炎发明了预制预应力双 T 板,在美国 PCI 协会的推动下,双 T 板、预制预应力空心板、预制夹芯保温外墙技术较普及,构件尺寸都很大,因此生产成本低,安装效率高,总体经济性非常好。

总体来讲,美国装配式混凝土建筑发展的主要特点如下。

(1) 以低层、多层为主,且大力推广装配式木结构、轻钢结构住宅,抗震能力强。其中木结构以胶合木为主,该木材强度大,结构弱,内应力小,不易开裂和翘曲变形,还有较高的耐火性能,可解决部分大跨度结构问题、构件耐蚀防蛀等问题;预制构件主要有 PC 墙板、预应力楼板等,预制构件之间以干式连接为主。

(2) 集设计、制作、安装、装修整体房屋为一体的集成住宅产业,工厂化生产。随着木结构价格上涨,钢结构住宅已成为集成住宅的主力。

(3) 美国对超高层住宅建设采用装配式混凝土建筑一直很慎重,主要集中在几个大都市区,多采用装配式钢结构。

(4) 市场主导装配式混凝土建筑发展,政府起引导和辅助作用,依靠法律手段和经济杠杆加以推动。

2. 加拿大

加拿大作为美国的近邻,借鉴了美国的经验和成果,因此,其装配式混凝土建筑的发展与美国相似。目前,其装配式混凝土建筑的装配率、构件通用性较高,大量应用装配式剪力墙和预应力空心板技术体系建设多、高层住宅,完全取消了脚手架和模板,现场干净整洁,施工快捷且经济性很好,大城市建筑多为装配式混凝土建筑和钢结构建筑,抗震设防 6 度以下地区甚至推行全预制混凝土建筑。

3. 德国

德国建筑工业化水平处于世界前列。第二次世界大战后,装配式混凝土建筑在德国广泛应用,预制混凝土大板技术是其最重要的建造方式,该体系也成为德国规模最大、最具影

响力的装配式建筑体系。20 世纪 90 年代以来,随着德国强大的机械设备设计加工能力的推动以及现代社会审美要求的变化,现浇和预制混合的预制混凝土叠合板体系开始在德国广泛应用和发展,并不断优化整合建筑策划、设计、施工、管理各个环节,力求建筑个性化与美观性、经济性、功能性、环保性达到综合平衡。目前,德国的装配式混凝土建筑产业链处在世界先进水平,标准规范体系全面完整,建筑、结构、水暖电专业协作配套,施工企业与机械设备供应商合作密切,高校、研发机构不断为企业技术研发提供支持。

德国的装配式混凝土建筑主要采用叠合板、剪力墙结构体系,包括剪力墙板、梁、柱、楼板、内隔墙板、外挂板、阳台板等预制构件。构件预制与装配建设已经进入工业化、专业化设计,标准化、模块化、通用化生产,其构件部品易于仓储、运输,可多次重复使用、临时周转并具有节能低耗、绿色环保的性能。经过几十年的发展,德国在推广装配式产品技术、推行环保节能的绿色装配方面已经积累了较成熟的经验,建立了非常完善的绿色装配及产品技术体系。

综上所述,德国装配式经积累了建筑的发展特点如下。

(1) 已建立了完善的绿色装配技术体系;从大幅度节能建筑到被动式建筑,都采用装配式住宅实施,实现装配式住宅与节能标准的充分融合。

(2) 已建立了绿色装配产品设计体系。装配式混凝土建筑结构技术与构造 DIN 设计体系:在模数协调的基础上实现了部品的尺寸和连接等标准化、系列化,使德国住宅装配部件的标准发展成熟通用,市场份额达到 80%。AB 技术体系:即装配式建筑技术体系,形成了盒子式、单元式或大板装配体系等工业化住宅形式。

(3) 建筑工业化施工程度较高,制作的机械化程度较高。

4. 法国

法国在 1891 年就已经开始采用装配式混凝土建筑,是世界上推行建筑工业化最早的国家之一,走过了一条以全装配式大板和工具式模板现浇工艺为标准的建筑工业化的道路。法国装配式建筑以混凝土结构为主,钢、木结构体系为辅,以预制预应力混凝土装配整体式框架结构体系(简称“构(SCOPE)体系”)为标志。与欧洲其他国家类似,建筑以多层为主,高层不多,超高层极少,多采用框架或板柱体系,结合预应力混凝土技术向大跨度发展,流行焊接等干式连接方式,推行构件生产与施工分离的原则,发展面向全行业的通用构配件的商品生产,建筑工业化程度高,装配率达到 80%,脚手架量减少 50%。

5. 以瑞典、芬兰为代表的北欧国家

瑞典早在 20 世纪 50 年代就开始大力发展高性能的预制装配化住宅,研发大型混凝土预制墙板,编制了《住宅标准法》,将建筑部品的规格纳入了瑞典工业标准(SIS),在完善的标准体系基础上发展通用部件,实现了部品尺寸、对接尺寸的标准化与系列化,推动了装配式建筑产品建筑工业化通用体系和专用体系的发展。

芬兰与瑞典类似,装配式混凝土建筑技术应用普及,以全装配式结构体系为主,现场湿作业极少,以应对极度严寒的气候。

6. 日本

日本装配式混凝土建筑处于世界先进水平,也是世界上装配式混凝土建筑运用最成熟的国家之一。1968 年,日本提出装配式住宅的概念,预制混凝土构配件生产形成独立行