

预制装配式混凝土建筑的结构体系和生产方式

石建光¹ 林树枝²

引言

为解决建筑业对环境、资源的影响,低碳、节能、绿色、生态和可持续发展等理念广泛应用于建筑中,许多国家通过建立定量的评价体系来降低能源资源消耗,提高对环境的要求^[1]。因为主体结构在高层建筑的建造中占据主要部分,主体结构的资源和环境要求更加重要^[2]。从各种有利于主体结构建造中降低能源资源消耗和保护环境的技术来考察,采用预制装配式结构是一种改变建造方式的技术途径^[3]。预制装配式混凝土不仅有环境效益,而且具有经济优势^[4],随着劳动力资源的短缺、交通拥挤等社会问题的日益严重,预制混凝土结构成为一个很好的选择^[5]。考虑我国建筑业仍处于劳动密集型产业阶段,经济增长方式属于粗放型增长^[6],发展建筑标准件、推进施工机械化、提高建筑质量是建筑业科技发展的主要任务^[7]。因为预制装配式混凝土结构具有可以转变建设模式、提高效率、保证质量及有利于管理等特点,所以国务院2013年1月1日《绿色建筑行动方案》中明确要求推广预制装配式混凝土建筑体系,加快发展预制装配技术。

预制混凝土在土木工程中的主要应用领域有:建筑工程、桥梁工程、交通工程、岩土工程、水工工程、市政、构筑物和城市小品等^[8]。以住宅通用体系集成技术和装配式工业化生产方式来建造的住宅,以住宅产业化和建筑工业化为核心的预制混凝土装配式房屋建造方式,经过多方努力已经获得各地建设部门以及开发商的一定认可^[9]。针对建筑工程领域中的预制装配式混凝土结构,本文通过总结国内外预制装配式混凝土的发展概况,阐述我国预制装配式混凝土结构现状,对预制装配式混凝土结构体系的发展和生产方式的选择提出一些建议。

国外、香港和台湾地区预制装配式混凝土的发展概况

1996年预制装配式结构在欧洲达到了最高的

应用水平,如丹麦达43%、荷兰达40%、瑞典和德国达31%^[10]。欧洲是预制建筑的发源地,早在17世纪就开始了建筑工业化之路^[11]。以法国为代表经历了结构-施工体系、样板住宅、通用构造体系及主体结构体系等多种发展模式^[12],北欧地区则以芬兰为代表,墙体主要以夹芯保温墙板为主^[12]。

美国从20世纪30年代的拖车式汽车房屋为雏形开始工业化住宅发展,1976年后,美国联邦政府住房和城市发展部颁布了美国工业化住宅建设和安全标准,形成了一系列标准产品可供选用^[13]。北美的预制建筑主要包括建筑预制外墙和结构预制构件两大系列,预制构件的共同特点是大型化和预应力相结合^[14]。美国新颁布的法规要求所有新建房屋的申请必须满足某一最低可建造计分制的规定^[14]。

日本在1975年后,建筑的层数越高,工厂化预制比例越高,有效解决模板的利用率和成本摊销、泵送商品混凝土和高空养护的难度、工作量大等问题^[14]。日本有《预制混凝土工程》(JASS10)等预制混凝土建筑体系设计、制作和施工的标准,结合自身要求,在预制结构体系整体性抗震和隔震设计方面取得进展,如2008年采用预制装配框架结构建成的两栋58层的东京塔^[11]。日本的预制结构体系主要有板式体系和框架体系^[15]。

香港1990年开始把传统的砌筑内隔墙改为预制条形墙板,规定采用露台、空中花园、非结构预制外墙等环保措施的项目将获得面积豁免,多出的可售面积可以部分抵消发展商的成本增加^[15]。高层住宅多采用叠合楼板、预制楼梯和预制外墙等方式建造,厂房类建筑一般采用装配式框架结构或钢结构建造^[10]。采用内浇外挂方式,可以保证超高层住宅的整体性和刚度,同时可防止雨水和风暴的袭扰^[15]。最近,香港预制构件在住宅建筑的应用发展到结构的剪力墙部位、核心筒和梁柱节点等,使得预制构件占整个建筑的60%左右^[10]。

创新性研究

我国台湾地区的装配式混凝土建筑应用较为普遍,建筑体系和日本、韩国接近,装配式结构的节点连接构造和抗震、隔震技术的研究和应用都很成熟^[10]。

从各国和地区的经验看出,政府在政策、经济制度上的支持和优惠,建立各种先进的建筑体系和方法以及相关行业标准规范、集成建筑产品研究开发、设计、构配件制造、施工、与服务等全产业链企业,向社会提供符合地区特点的建筑产品是发展的关键。

我国预制装配式混凝土结构现状

我国在上个世纪70年代初的时候就开始了“三化一改”,其最终目标是实现“三高一低”^[16]。预制混凝土构件行业的发展大致经历了三个时期:计划经济时期、经济转型时期和市场经济时期^[16]。计划经济时期形成了一系列装配式混凝土建筑体系,市场经济时期的预制混凝土构件行业迎来了新的发展机遇,规模逐步扩大,技术更加先进,质量要求更高^[17]。

北京市以开发和完善混凝土预制构件为基础,专为促进预拌混凝土预制构件行业健康、稳定、可持续发展而制定规划^[18]。上海市制定了《装配整体式混凝土住宅体系设计规程》(DG/TJ08-2071-2010)和《装配整体式住宅混凝土构件制作、施工及质量验收规程》(DG/TJ08-2069-2010)。由上海城建置业发展有限公司开发的浦江大型居住社区的预制混凝土一期工程,18层住宅中主梁、次梁、外墙及女儿墙全部预制,预制率50%,14层住宅中增加了预制柱,预制率70%,成为国内最高预制化率的新居^[9]。沈阳市出台了《关于加快推进现代建筑产业化发展指导意见》,在奖励面积、开辟绿色通道、优先返还墙改及散装水泥基金等方面给予支持。正在研究出台《沈阳市装配式建筑工程规划建设管理办法》,将在工程规划、构件生产、设计、施工、监理及工程验收等方面创新管理模式^[9]。组织编制了省级技术标准《装配整体式混凝土结构技术规程》^[19],使沈阳市有关装配式混凝土结构技术规程基本完备。

预制装配式混凝土建筑结构体系

装配式混凝土建筑结构体系可归纳为通用结

构体系和专用结构体系两大类,通用结构体系和现浇结构一样可概括为框架结构体系、剪力墙结构体系及框架-剪力墙结构体系三大类。专用结构体系一般在通用结构体系的基础上结合具体建筑功能和性能要求发展完善而来。专用结构体系有英国的L板体系、法国的预应力装配框架体系、德国的预制空心模板墙体系、美国的预制装配停车楼体系及日本的多层装配式集合住宅体系等。我国的装配式混凝土单层工业厂房及住宅用大板建筑等也都属于专用结构体系范畴。

目前各地开发了很多装配式混凝土建筑结构体系,如南京大地建设集团有限责任公司的“预制预应力混凝土装配整体式框架结构体系”、北京万科企业有限公司的“装配整体式剪力墙结构体系”、南通建筑工程总承包有限公司的“全预制装配整体式剪力墙结构体系”、西伟德混凝土预制件(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”,在工程中开始示范和应用。

发展各种预制装配式混凝土建筑结构体系是推进预制装配技术的关键。按设计施工的技术难度分:主体结构竖向构件采用预制技术最难,如框架柱、剪力墙等;主体结构水平构件采用预制技术次之,如叠合梁、叠合板等;非主体结构采用预制技术最容易,如楼梯板、阳台板、外挂板等。将各种有利于建筑结构可持续发展的技术与预制装配技术结合会更加体现技术优势,产生综合效益^[20]。如结合隔震减震技术开发预应力装配整体式框架结构、预制外墙为主的装配整体式剪力墙的装饰、保温一体化预制技术^[21]。在工业化住宅发展中主要解决高层结构体系与抗震设计的有机协调,施工方便快捷与价廉物美的统一^[22]。结合目前许多绿色建筑评价指标和设计施工的技术现状,采取逐步提高预制化率的指导思想是比较普遍的做法,如外墙板、叠合板、楼梯及阳台等构件可设计为预制,内墙及山墙等主要传力构件采用现浇。装配式混凝土框架-剪力墙结构体系中剪力墙以现浇为主,框架部分的梁、板、柱可采用预制,采用叠合楼板或现浇楼板加强预制构件与现浇结构的连接,实现基于可等同现浇结构

的设计原则。结合各地区不同的抗震设防烈度、建筑节能要求、自然条件和结构特点,开发专用结构体系,不但可提高预制率,而且可以保证建设质量、提高专业化技术水平。

预制装配式混凝土结构的生产方式

建筑业的生产具有建筑产品式样多、不定型、体积庞大、材料零碎、地点分散、施工流动性大、费用大及时间长等特点,这使得建筑业的生产技术发展缓慢。建筑工业化基本内容可以概括为建筑设计标准化、构配件预制工厂化、施工机械化和组织管理科学化等“四化”^[23]。

目前,预制装配式混凝土结构生产方式主要有标准化结构生产系统和通用化生产系统两种。标准化结构生产系统主要从欧美国家引进,如南京大地集团引进的法国世构框架结构系统和安徽合肥引进的德国固得美标准化预制剪力墙结构和生产系统。通用化生产系统是构件公司开发的预制混凝土结构生产系统,主要参考了日本和香港预制构件生产的技术,预制构件的模具由固定的标准化、通用化固定底模和可随设计产品变化的侧模组成,可生产各类标准化和非标准化预制构件,底模和部分侧模可重复利用,蒸汽养护在原固定模位进行,总体生产效率较低。

预制装配式混凝土结构一般面临专项施工方案、深化设计、试制作和试安装、吊运等通用性技术问题^[24]。预制装配式混凝土的工厂化生产有利于在预制混凝土产品中采用废旧混凝土、矿渣、粉煤灰及工业废料等原料^[25,26],同时预制混凝土结构的拆除也相对容易,一些预制混凝土墙板还可以修复后重复利用^[27],这些对充分合理利用自然资源,保证可持续发展有重要意义^[28]。预制行业在未来发展进程中,预制专业化与施工一体化并存的格局将逐步形成,需要有机组合一批研究、设计、生产及施工安装企业共同开发预制混凝土技术。

预制构件的发展呈现高精度、结构功能装饰一体化、混凝土高性能化等特点,从设计和生产技术来看标准化、模数化和自动化高效生产、预制构件节段化、装饰构件高品质化和构件应用领域的细分化是发展趋势^[29]。外墙板、内墙板和楼板是住宅产业化的核心,满足质量轻、强度高、保温隔热性能

优、安装方便、造价经济及经久耐用的三板体系是预制装配技术应用的关键,与钢结构住宅产业化中缺乏楼板、墙板和屋面板体系配套一样,预制混凝土结构体系有三板材料的配套才能发挥工业化的优势。以技术创新为基点,对装配式结构体系的结构性能、施工方法及预制化生产等方面进行科研推动建筑工业化的发展^[30]。

结论和建议

目前的政策偏重于主体结构的预制化率,未侧重结构体系的经济性。主体结构的工业化中未重视机电、装饰与结构一体化,相关政策扶持预制构件行业扩大生产的力度不足。我国现有的招投标制度是建立在现浇施工技术下的制度体系,其工程计价方式、承包商资质管理及审核方式、工程分包方式等导致预制装配缺乏竞争机会,工业化的建造方式相对于传统建造方式的变化必然要求在招投标制度工程预算体系、主体结构分包方式等方面作出相应的变化。公众对预制装配式结构的安全性、外墙防水性、防火性及隔声性能等产生诸多质疑,对建筑工业化概念不清,导致开发商对预制装配式结构热情不高^[21]。

我国预制装配式混凝土结构的发展再次获得机遇,北京、上海、沈阳等地区都开展了规划设计、政策制定、标准建立及工程实践等多方面的工作。积极开展预制装配式混凝土建筑结构体系的引进或研发、生产方式的设计是各地或企业成功开启建筑工业化的第一步。因此,应遵循从工程中外墙板、内墙板和楼梯、阳台等工序复杂但对结构安全影响小、装配质量容易控制、工程规格简单等局部预制装配式构件开始,逐步到楼板、梁柱及剪力墙等结构安全要求高、连接复杂、装配质量难于控制的整体预制装配式结构发展原则。

预制装配式结构是建筑工业化的主要内容,结合各地区不同的抗震设防烈度、建筑节能要求、自然条件和结构特点,开发专用结构体系,不但可提高预制率,而且可以保证建设质量、提高专业化技术水平。依据因地制宜,从简单到复杂、从低级到高级的发展路线,发挥预制叠合构件、非受力构件的优势,采用预制与现浇相结合的装配整体式结构技术,发展有针对性的预制装配式混凝土结构体系是

创新性研究

实现建筑工业化的关键。把握预制装配式建筑的特点、优点、实施要求和难度,转变依靠大量劳动力的传统现浇方式;建立预制构件的自动化生产工艺流水线、做好深化设计是实施中的重点;建立从管理措施、经济手段、技术标准及配套产业的整体行业转型升级环境,推动预制装配式混凝土的发展。

(作者单位:1 厦门大学土木工程系 2 厦门市建设与管理局)

参考文献

- [1] Candace Say, Antony Wood, Sustainable rating systems around the world[J], CTBUH Journal, 2008 Issue II, 19-29.
- [2] Jianguang Shi, The Demand and Requirements of Environment and Resource on the High-Rise Building Structure [C], CTBUH 2011 World Conference, Seoul, Korea, 10-12 October, 2011.
- [3] 石建光, 高层建筑结构的资源性和技术实现途径[C], 第二十二届全国高层建筑结构学术交流会, 厦门市, 2012年10月24-27日.
- [4] 文成, 预制混凝土结构的效益评价及其在我国的发展[J], 建筑技术, 第38卷第1期, 2007年1月, 9-11.
- [5] Alfred A. Yee, 预制混凝土技术的社会和环境效益[J], 建筑结构, 第34卷第1期, 2004年1月, 45-47.
- [6] 魏新亚, 林知炎, 中国建筑业的产业地位和发展水平分析[J], 哈尔滨工业大学学报, 第36卷第1期, 2004年1月, 124-128.
- [7] 叶耀先, 中国建筑业技术进步分析[J], 中国人口资源与环境, 第17卷第1期, 2007年, 44-49.
- [8] 范力, 装配式预制混凝土框架结构抗震性能研究[D], 同济大学工学博士学位论文, 2007.
- [9] 蒋勤俭, 2012年预制混凝土行业发展报告[J], 混凝土世界, 总45期, 2013年3月, 49-53.
- [10] L. Jaillon, C. Poon, The evolution of prefabricated residential building systems in Hong Kong: A review of the public and the private sector [J], Automation in Construction, vol.18, pp. 239-248, 2009.
- [11] 蒋勤俭, 国内外装配式混凝土建筑发展综述[J], 建筑技术, 第41卷第12期, 2010年12月, 1074-1077.
- [12] 楚先锋, 国内外工业化住宅的发展历程(之一) [J], 住区, 2008年05期.
- [13] 蒋勤俭, 钟志强, 2011年中国预制混凝土构件行业发展概况 [J], 混凝土世界, 总31期, 2012年1月, 94-99.
- [14] 周磊, 香港高层预制钢筋混凝土结构抗震性能若干问题浅析 [D], 中国地震局工程力学研究所硕士学位论文, 2009.
- [15] 楚先锋, 国内外工业化住宅的发展历程(之二) [J], 住区, 2008年6期, 100-105.
- [16] 楚先锋, 国内外工业化住宅的发展历程(之三) [J], 住区, 2009年1期, 82-87.
- [17] 蒋勤俭, 刘昊, 钟志强, 混凝土预制构件行业发展与定位问题的思考 [J], 混凝土世界, 总22期, 2011年4月, 20-22.
- [18] 北京市建委, 混凝土预制构件行业发展专项规划[J], 混凝土世界, 总21期, 2011年3月, 22-25.
- [19] 辽宁省地方标准 DB21/T1868-2010, 《装配整体式混凝土结构技术规程》(暂行)[S], 2011年2月1日.
- [20] Alfred A. Yee, 预制混凝土技术的社会和环境效益[J], 建筑结构, 第34卷第1期, 2004年1月, 45-47.
- [21] 组委会编, 建筑工业化存在问题分析[C], 第二届建筑工业化技术论坛文集, 深圳, 2012年4月14日.
- [22] 魏洁, 借力政策、规范标准、创新研发实现规模区域化连锁经营 [J], 混凝土世界, 总31期, 2012年1月, 56-57.
- [23] 卢达溶, 工业系统概论[M], 清华大学出版社, 1999年.
- [24] 王晓锋, 蒋勤俭, 赵勇, 装配式混凝土结构的施工规范——《混凝土结构工程施工规范》(GB 50666-2011)- 装配式结构工程编制简介[J], 混凝土世界, 总42期, 2012年12月, 56-65.
- [25] Van Greem, Martha, Achieving sustainability with Precast concrete [J], PCI Journal, 2006, Vol.51(1): 42-61.
- [26] 吴徽, 张艳霞, 陈家珑, 再生混凝土结构抗震性能研究现状及其在预制结构中的应用展望 [J], 建筑技术开发, 2008(增), 63-67.
- [27] 组委会编, 回归预制技术[C], 第三届中国预制混凝土技术论坛, 上海, 2013年5月17日.
- [28] Yee, Alfred A. Structural and Economic Benefits of Precast Prestressed Concrete Construction [J], PCI Journal, 2001, Vol.46 (4):3442.
- [29] 组委会编, 建筑工业化发展与预制构件技术[C], 建筑工业化发展与预制构件技术研讨会, 宁波, 2013年12月11日.
- [30] 严薇, 曹永红, 李国荣, 装配式结构体系的发展与建筑工业化[J], 重庆建筑大学学报, 2004年05期.