



龙玉峰



谌贻涛



赵晓龙

RESEARCH ON INDUSTRIAL TECHNOLOGY OF SOCIAL SECURITY HOUSING IN SHENZHEN

工业化技术在深圳市保障性住房中的应用研究

撰文 龙玉峰 谌贻涛 赵晓龙 华阳国际设计集团建筑产业化公司

摘要 以本课题研发的标准化户型为基础，对当前国内的工业化结构工法体系进行评价与选型；以预制剪力墙结构工法体系为例，从预制构件及与其连接节点的标准化以及BIM辅助设计两个方面，介绍工业化技术在深圳市保障性住房中的应用，希望能对今后我国工业化的发展起到一定的借鉴作用。

关键词 保障性住房 工业化技术 标准化设计 BIM技术

1 背景介绍

近年来，国家鼓励在大批量建设的保障性住房中应用工业化技术，这对于推动我国建筑工业化进程是一个重要的契机。然而由于该领域尚处于起步阶段，工业化项目规模小、标准化设计程度低、工法体系种类多、现阶段成本较高等问题都制约着PC技术的发展。究其根本，PC工法体系的选型以及工业化的标准设计就是解决上述问题的关键。本文以课题中的标准化户型和组合平面为基础，从本土化的角度对我国现阶段工业化结构工法体系进行评价与选型，综合生产、施工和成本等因素，合理选择预制率与预制部位，加强对预制构件和连接节点的标准化设计，以实现工业化技术在保障性住房中的应用。

2 工业化技术体系适应性评价与选型

2.1 国内工业化技术体系适应性评价

(1) 外挂板工法体系

外挂板工法体系俗称“内浇外挂体系”，其并不是一种结构形式，而是一种施工方法。但

是由于其外墙为预制、主体结构为现浇，比较容易操作，因此目前在国内（尤其南方地区）比较常见。“内浇外挂”是指内墙用混凝土浇筑，外墙挂预制混凝土复合墙板，配以构造柱和圈梁。该体系常将楼板、梁柱结合铝模施工技术现浇，选择将外墙预制，预制率较低，在一定程度上降低了现场的湿作业难度，在当前建设规模较大的情况下，能够有效地控制成本，比较适合深圳现阶段应用。

(2) 预制装配式剪力墙结构工法体系

根据具体工法不同，预制部位以及比例率也有所不同，依照当前国内现状，大体可以分为两类：其一，仅在外承重墙中应用预制的剪力墙构件，上下层外墙通过套筒灌浆连接，内部剪力墙以现浇形式完成；其二，所有的承重墙都通过预制完成，最后通过现场浇筑节点的方式保障其整体性。该体系比“内浇外挂”方式工业化程度高，预制外墙承重且参与抗震计算，对于小户型的保障性住房空间和功能布置无影响。在大规模

表1 我国工业化结构工法体系的评价

类型	预制部件	适用高度	优点	缺点
现浇剪力墙预制外挂板墙工法体系	外墙（非承重墙）叠合楼板、阳台预制 空调板预制楼梯	1.多层 2.高层 3.超高层	1.外墙预制施工难度较低 2.成本较低	1.含钢量较高 2.室内露梁
预制装配式剪力墙工法体系	预制剪力墙叠合楼板、阳台预制楼梯	1.多层 2.高层 3.超高层	1.外墙参与受力计算 2.室内无梁柱突出 3.工业化程度较高	1.施工难度较大 2.施工要求较高
叠合板混凝土剪力墙工法体系	双向板墙体叠合楼板、阳台预制楼梯	1.多层 2.高层	1.施工简便 2.整体性好	1.室内自由度不高 2.墙体较厚
预制装配式框架工法体系	柱（柱模板）叠合梁、外墙、 楼板阳台、楼梯	1.多层	1.内部空间自由度好 2.工业化程度高	1.室内露梁、柱 2.成本较高 3.建造高度受限制
预制装配式框架剪力墙工法体系	柱（柱模板）叠合梁、楼板剪力墙（可 现浇）预制楼梯	1.多层 2.高层 3.超高层	1.内部空间自由度高 2.工业化程度高	1.室内露梁、柱 2.高度限制

生产的前提下，此种体系是未来重要发展方向之一，比较适合目前高容积率保障性住房项目应用。

（3）叠合板混凝土剪力墙结构工法体系（双板体系）

该体系属于剪力墙结构的范畴，其竖向受力构件为双层预制混凝土板，横向受力构件为叠合楼板，通过向双板的中空空间浇筑混凝土实现其整体性连接，同时，预制构件双板还充当了结构模板，省去了现场拆模的工序。该体系工业化程度较高，叠合墙板和叠合楼板可被大量应用于地上剪力墙结构和地下车库工程。

（4）预制装配式框架结构工法体系

该体系在地震频发的日本应用较广泛，地震发生时其可通过柔性变形消耗能量，减少破坏，是一种减震、隔振的结构体系。但由于国内的规范以抗震为主，过大的变形是不被允许的。因此，仅有少量的非高层PC装配式住宅以这种体系建造。在国内，预制装配式框架结构根据不同的施工方式大体可以分为两类：其一，柱、梁全部预制，通过现浇节点的方式实现结构的整体性；其二是预制柱模和叠合梁，通过现浇柱的方式实现其整体性。由于国家抗震规范限制，框架结构不能满足60m以上高层建设要求，不适合在深圳地区高层保障性住房建设中使用。

（5）预制装配式框架剪力墙结构工法体系

该结构体系是一种结合框架结构与剪力墙结构优点的结构形式。纵向上采用柱和梁形成的框架结构，横向上设置剪力墙。当前，在国内主要通过预制梁与现浇柱及现浇剪力墙的方式完成其整体性。该体系并没有突破现行的抗震规范，结构合理，且工业化程度比较高。在平面设计上比较灵活，改造可能较大。结合室内SI体系可能会成为深圳地区未来的发展方向之一。

2.2 深圳市保障性住房工业化体系选型

随着工业化技术体系的成熟，国内已有应用工业化技术建造出的百米高楼。目前，现行规范中对框架结构具有明确的高度限制，因此不适宜在高层建设中应用该结构体系。同时，由于保障性住房面积较小，空间尺度较小，若应用现浇剪力墙预制外挂板工法或框架剪力墙工法，室内常出现梁与角柱，对户内空间使用及美观存在较大影响。叠合板混凝土剪力墙结构工法由于自身充当了模板，在实现与现浇同等结构性能的条件下，墙体厚度会有一定的增加，这也会影响建筑面积。相比之下，预制剪力墙结构工法体系可以实现结构体和外围护一体化设计，同时与保温体系集成，户内不露梁，大大减低了结构对套内面

积的占用。因此，对于现阶段推荐采用预制剪力墙结构工法体系，同时根据项目特点合理确定预制率与选择预制部位（表1）。

3 工业化设计方法

保障性住房作为一种极具产业化潜质的住宅建筑，巨大的建设量、较严格的成本控制、较短的工期要求，从根本上体现了“标准设计”相对于其他设计因素更具决定性。通过户型与组合单元模块的标准化、一体化设计，以及对住宅内部的各个配套模块进行系统的分析研究，课题组发现最关键的环节就是如何利用合适的工业化技术来配合各模块产品的施工建造。同时，工业化以标准化为基础，成为契合保障性住房未来发展的技术支撑。但是不同的项目采用的PC工法也有区别，要依据实际情况进行比较，最终选取最适合的施工方法进行建造，以达到节省成本、高质高效的结果。“标准设计”从作用上看，与PC的设计、制造、运输、施工等各个环节相关联，尤其对于国际上比较成熟的PC装配式技术来说，标准设计可以作为与其对接的主要手段。构建基于PC装配式技术的保障性住房标准设计方法体系能够实现方法论上的创新，推动我国建筑设计以及新型建筑产业化的升级与发展。

课题以安居型商品房Y-2为例，采用预

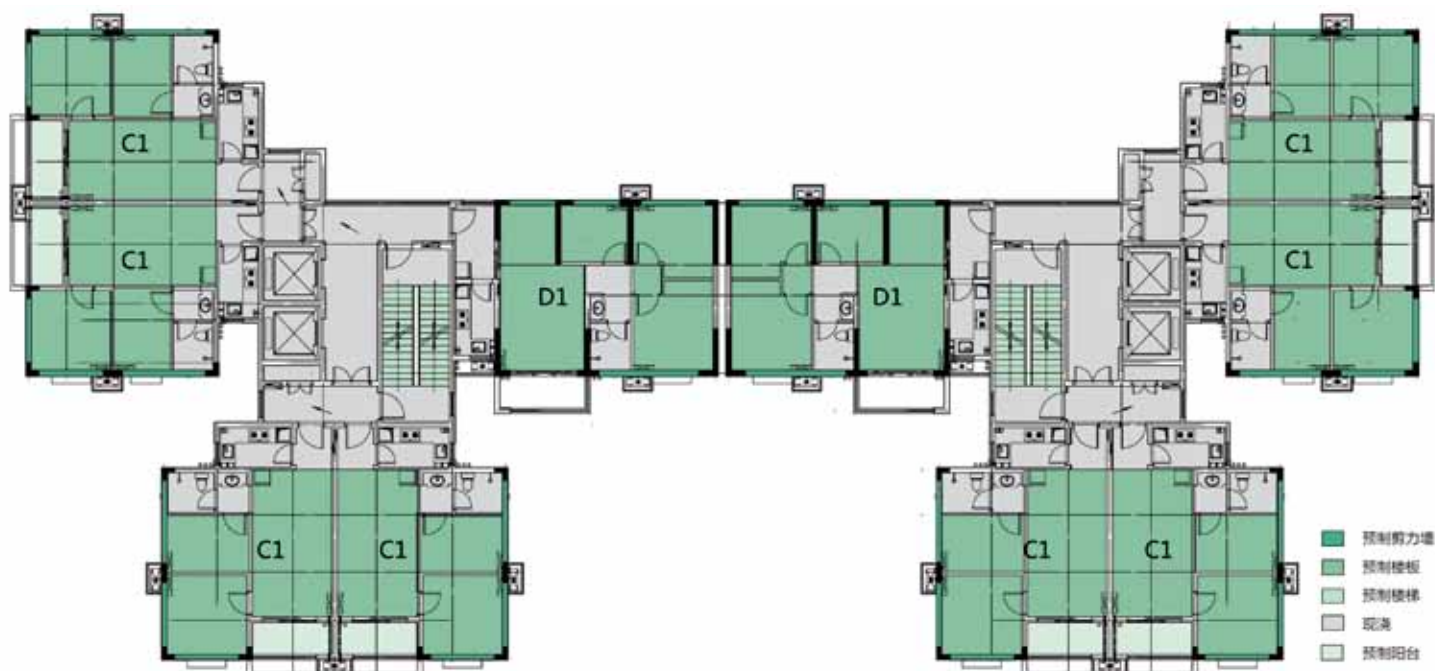


图1 保障性住房Y-2组合的构件拆分设计

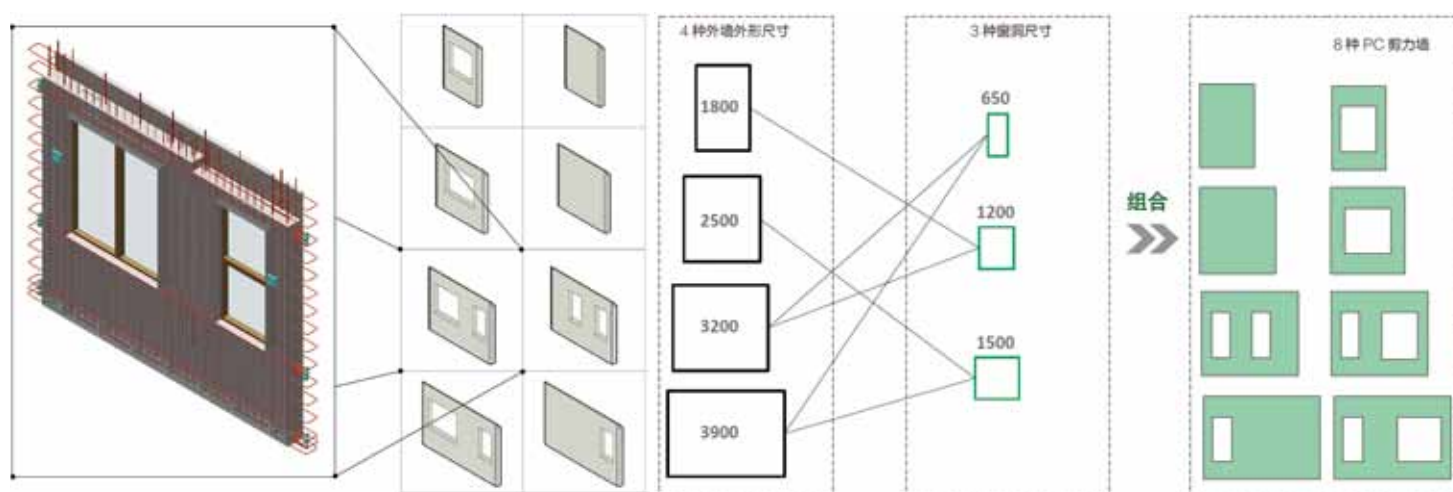


图2 预制构件的深化设计

图3 模具的多样化组合设计

制装配式剪力墙结构工法对其进行拆分设计（图1），预制构件包括：预制剪力墙、叠合楼板、预制楼梯和预制阳台等，总预制率为20%。以模块化户型的标准化为前提，PC的标准化设计主要由以下两个方面组成：预制构件标准化设计和预制构件连接节点的标准化设计。

3.1 预制构件标准化设计

预制构件的标准化设计主要从构件的种类、模具的数量、标准结构单元设计三个方面进行考虑。

（1）构件种类

预制构件的种类应尽可能少，这样既可以降低构件制造难度，又易于实现大批量生产

及控制成本的目标。在本课题研究中共有12种标准户型模块，由于这些户型模块是基于系列化理念进行设计，模块之间具有很高的通用性，为构件种类的有效控制提供了前提。课题组通过对构件的优化，共形成了8种标准的PC剪力墙构件（图2），这8种剪力墙构件通过组合与置换基本满足了所有户型的需求。

（2）模具数量

模具的数量应尽可能少，提升其使用的周转率，确保预制构件生产过程的高效性。预制构件利用模具在工厂进行加工生产，主要的流程为：在底模上组合模具，然后进行钢筋的布置与混凝土的浇筑，通过养护与脱模完成预制构件的制造。在本次保障性住房设计中，

通过标准化设计，形成了4种外墙外部尺寸和3种标准化的空口。因此，在设计模具时，只需制造4种类型的外模具与3种类型的空口模具，通过多样化的组合，就可形成8种类型的PC剪力墙构件（图3）。

（3）标准结构单元设计

标准结构单元的设计是本研究的又一突破，它包括组成PC剪力墙构件的约束性边缘构件、洞口以及其他非承重部分。标准结构单元的设计是在进行构件拆分的过程中确保PC构件标准化的重要手段。标准的PC剪力墙按照功能属性可分为三段：约束段、洞口段和可变段。通过对约束段的标准化设计，形成几种通用的标准化钢筋笼，以实现PC构件中承重部分的标准

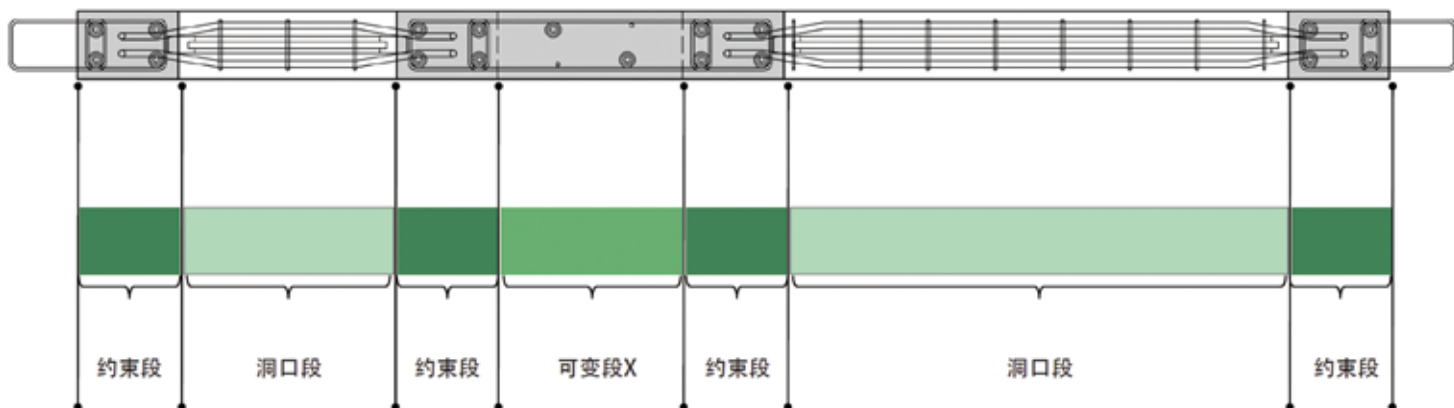


图4 预制构件标准结构单元的组合设计



图5 “一字形”连接节点示意



图6 “L字形”连接节点示意



图7 “T字形”连接节点示意



图8 应用BIM技术建立的Y-2工业化模型

化配筋，实现钢筋笼的机械化自动生产。在此基础上，通过约束段、洞口段以及可变段的多样化组合来实现PC剪力墙的通用性与多样性（图4）。

3.2 连接节点标准化设计

通过对预制构件连接的节点标准设计，形成了3种类型的水平连接方式。其中“一字形”（图5）常用于两个平行墙体构件的连接；“L字形”（图6）常用于两个垂直墙体角部的连接；“T字形”（图7）常用于横墙、纵墙有交接部位的连接。通过对这些节点的优化设计，实现了钢筋笼和铝模板的标准化，可有效避免钢筋碰撞，简化了现场施工难度。

4 工业化与BIM技术

研究中，课题组还应用AllPlan软件（BIM技术的范畴）建立了信息模型，通过分析优化，完成对预制构件的深化设计（图8）。这些模型中的信息包含了构件的种类、数量、单片构件的名称以及所在楼层的位置。构件中预埋件、钢筋、混凝土的等级也能在模型的信息中体现出来。这些信息通过软件自动录入到相对应的构件模型中，最终形成清晰的

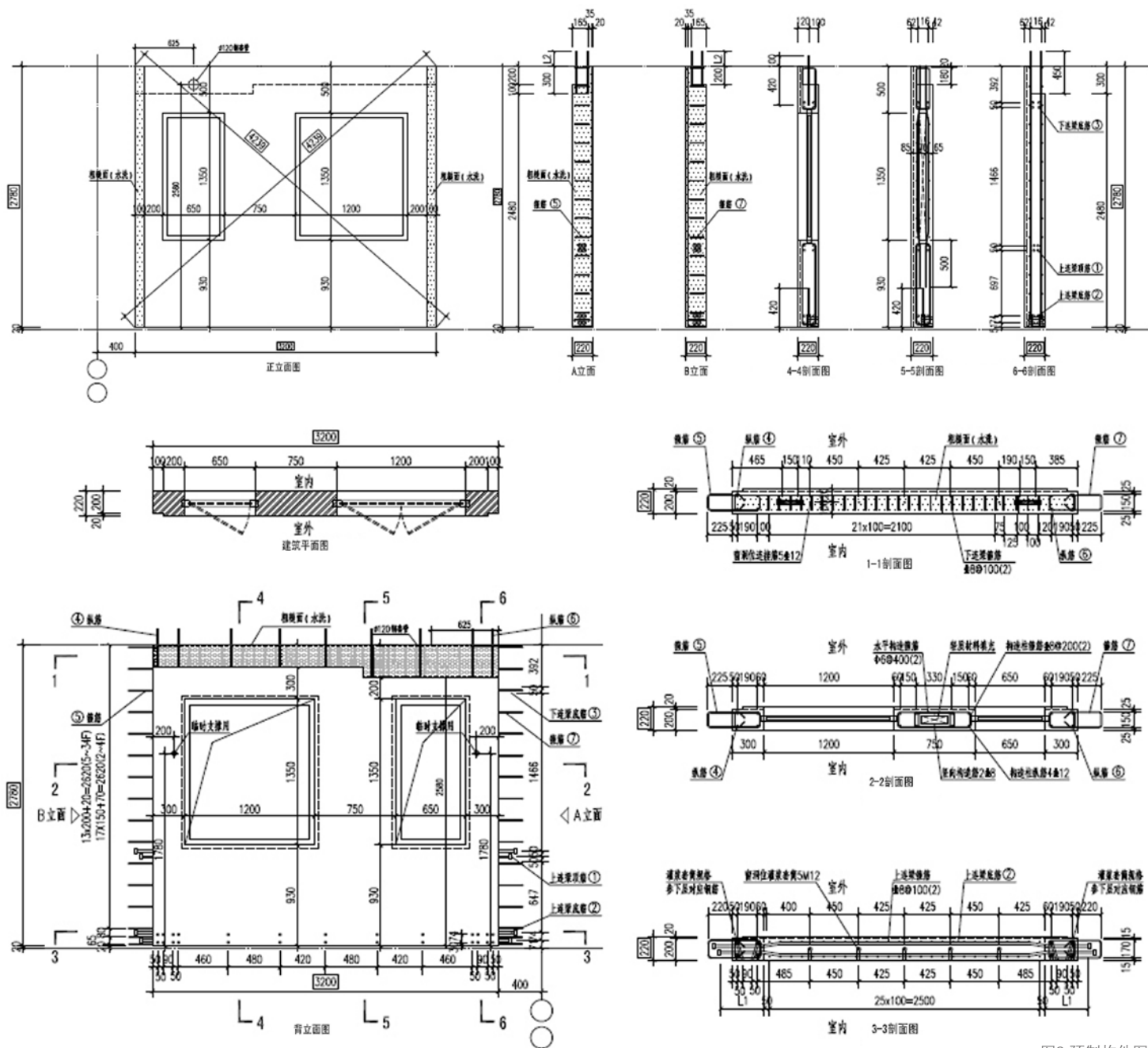


图9 预制构件图

构件图纸（图9）。此外，通过BIM技术对构件中钢筋的分类逐根统计，其中也包含了预制构件中使用的钢筋长度、重量及直径，以及弯折位置和相关尺寸等重要信息（图10），大大提高了工厂化生产的效率。

在工业化住宅的工程施工中通常会遇到各种专业的建造技术体系，如防水技术、排烟通风道技术、轻质隔墙技术、保温隔热技术等。采用一体化集成技术的发展模式也预示着住宅质量和生产效率的进一步提高，以及项目工程成本的进一步降低，这也是工业化住宅发展的必然趋势。在本研究中也涉及到了诸如住宅整体厨房、整体卫浴等成套化产品，课题组在综合考虑住宅平面布局、面积尺寸、设备配套、管道布置、厨房除油烟净化直排系统、装

饰装修等多种因素的基础上，依据住宅使用者的实际需求，实现了产品的定型化和标准化，并将这些建筑部品录入到BIM系统中，形成了BIM标准化部品库（图11）。未来的工业化技术更应当是一种社会协作化的生产施工模式，有效地从建筑的全生命周期中控制建筑设计与施工组织管理，从而达到高效和高质量的目的。

5 结论

本文通过对当前国内常见的工业化结构工法体系进行分析，以及对各种工法适用的建筑类型进行综合比较，最终选取了预制装配式剪力墙结构工法体系作为深圳市保障性住房建造的工业化技术。工业化技术必须与前期设计紧密配合，才能发挥其高效、高质量的优势。在此原则指导下，课题组在设计初期便对各个

空间进行了标准化的模块拆分，确保了设计中后期工业化设计的可行性。通过预制构件的标准化设计，减少了构件种类，优化了工厂模具，统一了边缘构件中的钢筋笼，实现了以少量预制构件满足多种户型的目标。随着工业化技术体系的不断成熟，未来会有更多更高效环保的技术手段来实现住宅的工业化建造。而工业化技术也将与信息化技术紧密地配合，更加广泛地应用到建筑设计的每个环节中。■

参考文献

- [1] 龙玉峰, 丁宏, 焦杨. 建筑工业化的标准化设计研究[J]. 混凝土世界, 2012(4): 48-52.
- [2] 张博为. 基于PCa装配式技术的保障性住房标准设计研究——以北方地区为例[D]. 大连: 大连理工大学, 2013.

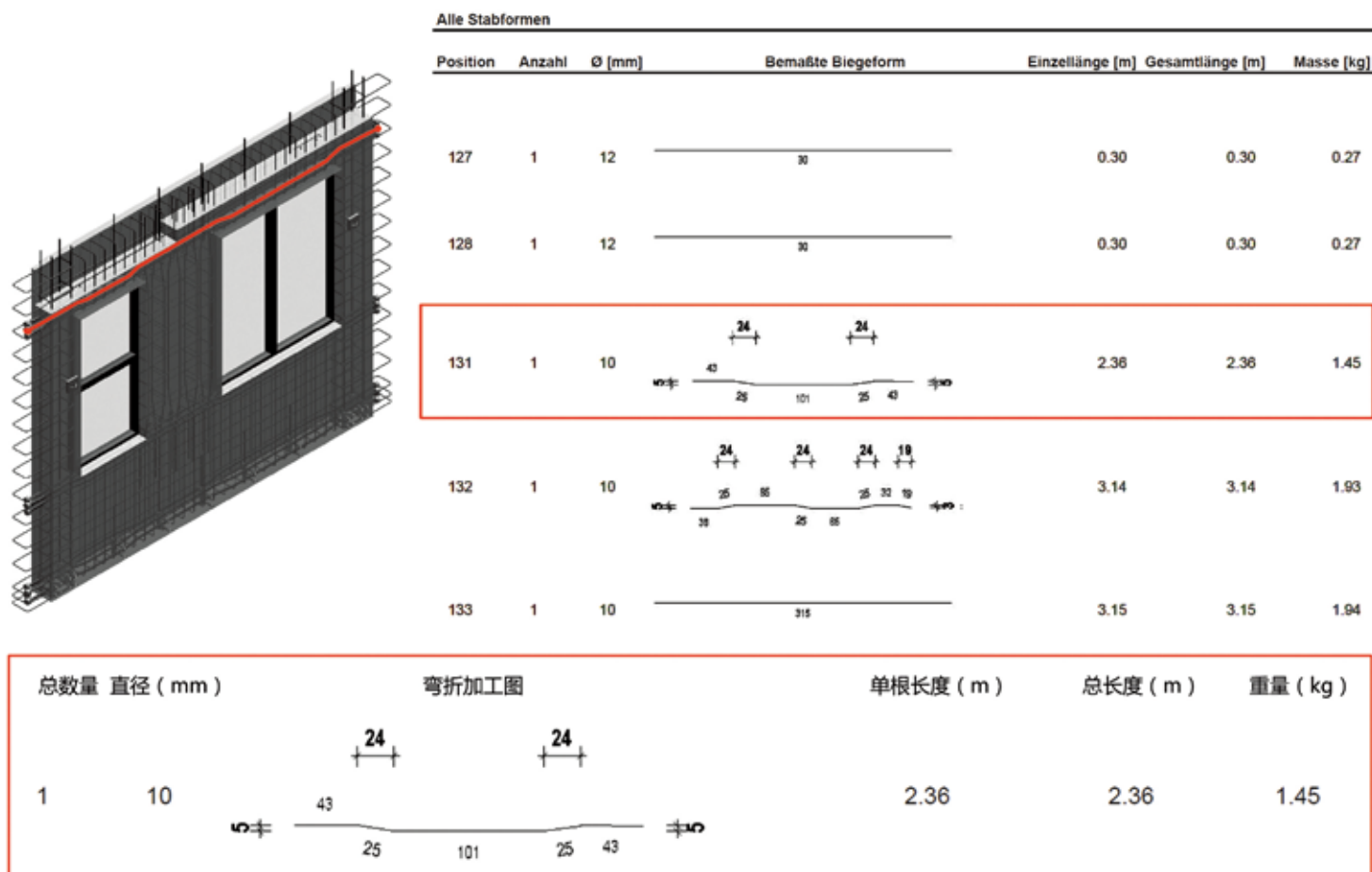


图10 应用BIM技术对预制构件钢筋的统计



图11 BIM标准化部品库