

SI 住宅的技术集成及其内装工业化工法研发与应用

闫英俊¹ 刘东卫² 薛磊²

1 SI 住宅与日本工业化生产理念及技术实践

1.1 SI 住宅体系

数十年前的住宅短缺时代，日本以国家主导的公共住宅供给为基础，从生产方式的变革入手，住宅工业化体系及其技术开发取得了飞速发展，依靠住宅部品产业的成熟，日本住宅建设完成了由数量向质量的重大进步。^[1]当前日本住宅进入了一个社会与经济可持续发展的阶段，同时伴随着日本人口的减少，日本住宅建设进入了社会资产储备的新时期，把住宅开发建设作为长远性社会资源并尽可能利用既有住宅资源成为日本住宅业的共识。而其共识的主要特点就是从建筑设计初期阶段，应在保证住宅建筑长远性全生命周期的前提下，方便地实现住宅设备设施和内装产品的检修和更新 这就是SI(Skeleton Infill)住宅的基本概念。

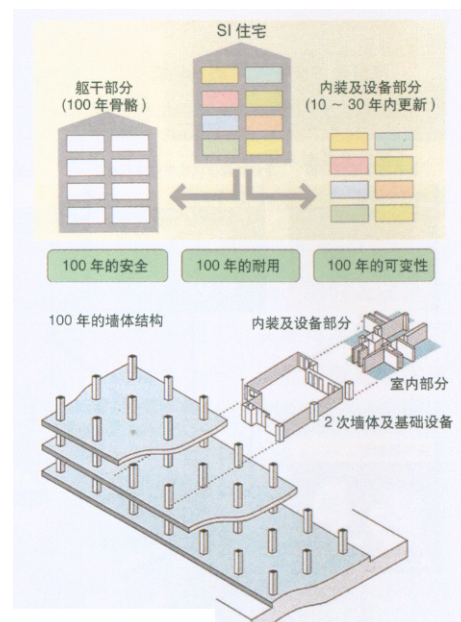
SI 住宅理念得到了日本政府和社会各界的拥戴和支持，其技术得到普及和广泛应用。其干式施工的内装工业化成为住宅内装的主流体系；超高层住宅采用 SI 体系设计与建造的几乎达到了 100%；国家主导的公共住宅也不同程度地采用 SI 住宅技术和工法。SI 住宅可保证住宅在 70—100 年的使用寿命当中能够较为便捷地进行内装改造与部品更换，从而达到延长住宅建筑使用寿命的目的。SI 住宅体系不仅通过提高住宅设备性能、合理布置管线和提高维修更换的可能性，确保了住宅的使用寿命，而且 SI 住宅在住宅体系方面对建筑主体结构使用年限也提出了更高的要求，通过提高建筑主体结构本身的耐久性能

来延长建筑的使用寿命。SI 住宅体系与新型建造理念对日本住宅的发展具有极其深远的影响(图 1)。

SI 住宅在日本是由 CHS¹⁾ 演变进化而来，其原始理论来自于荷兰，作为一种住宅系统有着多年的研究历史，却在世界各国都有不同的见解；虽然在日本国内定义的阐述有所不同，但是都有以下几点相同之处^[2-3]：1) 采用高耐久性能的建筑主体结构；2) 主体结构部分和内装及管线部分相分离；3) 户内空间具有灵活性和满足今后生活方式变化的适应性；4) 住栋公共部分和私有部分分界清晰、责任分明；5) 住宅主管道设置在公共部分便于管线与设备的维护更换。

1.2 日本住宅工业化建筑体系的发展和 SI 住宅的工业化内装技术

日本的住宅工业化进程是在政府与国家机构主导下，结合公共住宅量产化特点进行技术开发和不断实践并发展成熟的，从最初公共集合住宅大量建设为目的的住宅标准设计开始，到 PC 住宅的开发和技术应用，制定了标准化 SPH²⁾ 住宅设计体系，由住宅单一性标准设计时代进入到住宅标准化系列化的研发应用阶段，随后出现 KEP³⁾ 住宅体系和 NPS⁴⁾ 住宅体系两种相互关联的新的住宅生产建造体系，与此同时大力推行公共住宅部品的规格化、标准化工作，又通过市场化的 BL 认证住宅部品的普及，带动了部品产业化繁荣，为日本住宅工业化走向成熟奠定了坚实的基础。1980 年代的住宅建筑体系发展到了 CHS 住宅体系研发应用阶段，进一步明确了住宅工业化生产的发展方向，通过 CHS 住宅体系和 SI 住宅体系应用推广可实



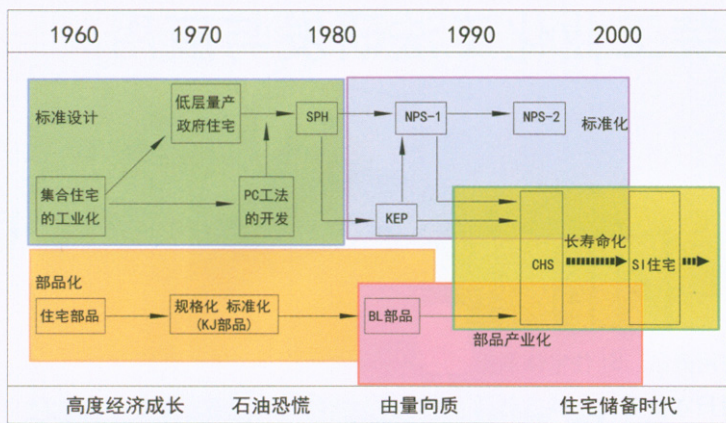
1 SI 住宅的分体表示

现住宅长寿命化。^[4]

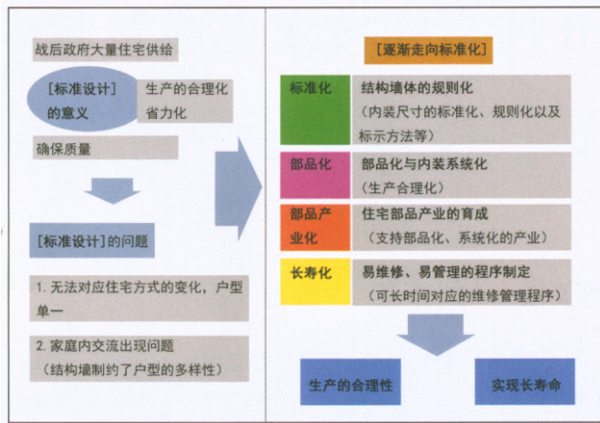
日本的公共住宅从早期开始便采用规格化的通用部品来开发与实施内装技术，这也是其住宅部品产业规模大、能力强、较为成熟规范的根本原因。随着日本住宅建筑体系研发的不断进步，与之相配套的日本住宅部品和主体结构体系也同步走向成熟，BL 认证部品的广泛采用也极大提高了部品的质量。BL 认证部品在降低部品价格的同时，部品的规格化、标准化做法对基本性能的确保起到了关键作用。以关注住宅工业化的性能长寿化和生产合理化基本理念为基础，伴随着日本 SI 住宅体系的普及化和内装部品的产业化推动，SI 住宅的工业化内装技术也随之发展起来。^[5]

2 我国住宅建筑体系的构建与 SI 住宅体系及技术研究应用前景

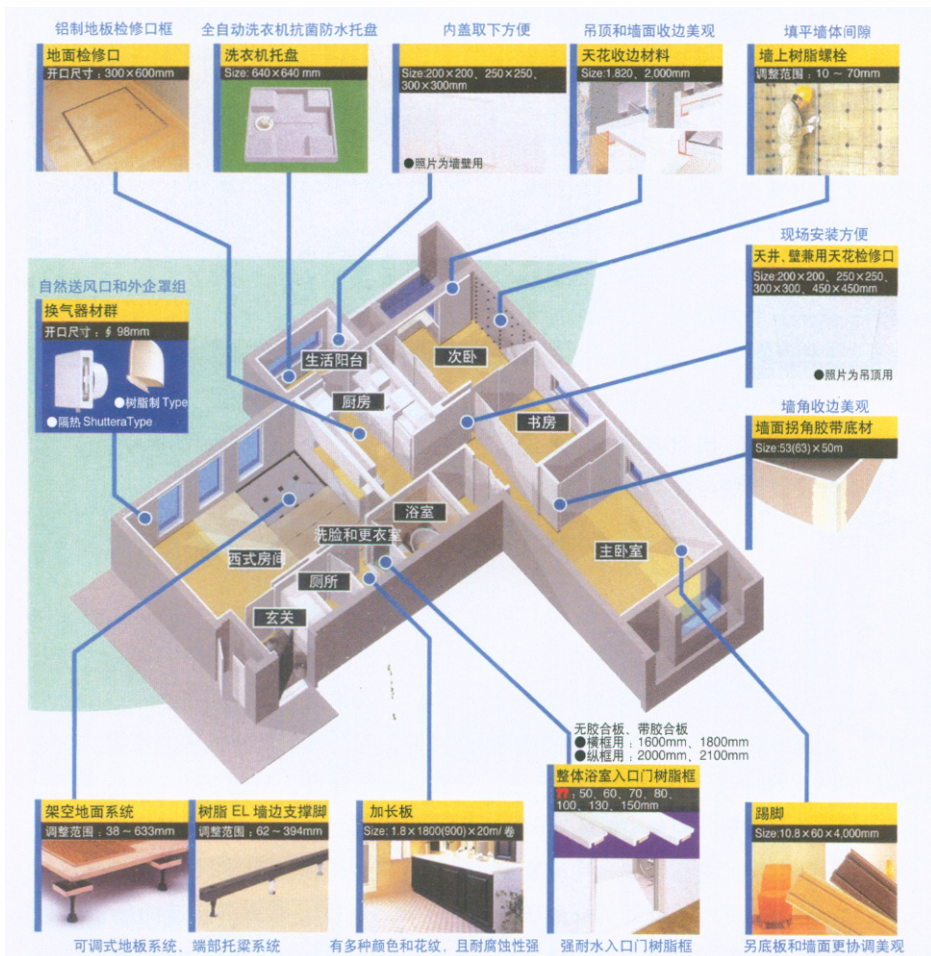
20 世纪中期以来，包括日本在内的



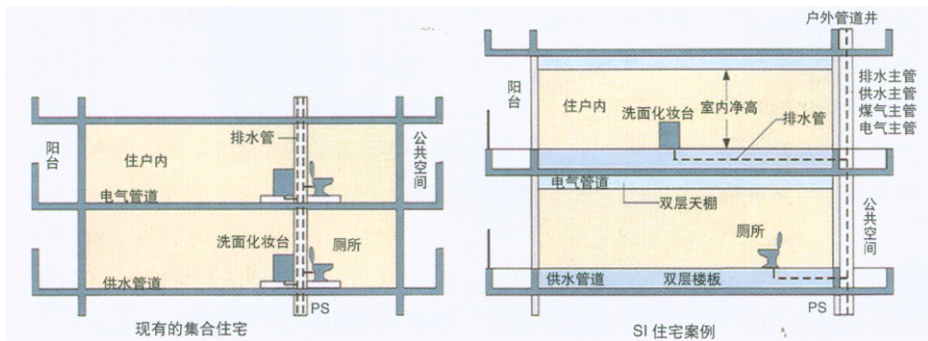
2 日本住宅工业化的体系化和部品化两大发展脉络



3 日本住宅工业化的长寿化和生产合理化理念



4 项目实施的SI住宅工业化内装部品体系



5 SI住宅管线与墙体分离的设计技术

西方发达国家注重采用住宅工业化生产的新型思路, 加紧住宅建筑体系和相关集成技术的研发工作, 住宅建设实现了从数量阶段到质量阶段的剧变。从其建设经验来看, 住宅工业化的住宅建筑体系是以专业化的生产方式, 将建筑部品加以装配集成为具有优良性能产品的建筑体系 (图3)。

3 项目实施中的内装工业化技术和部品集成应用研究

北京雅世合金公寓示范项目位于北京市海淀区西四环外永定路, 由两栋公建设施和8栋6~9层住宅共计486户构成, 是根据中国建筑设计研究院(中方负责单位)和财团法人Better Living(日方负责单位)签署的“中国技术集成型住宅·中日技术集成住宅示范工程合作协议”来实施建设的国际合作示范项目, 项目研发实施了SI住宅的内装工业化技术和部品集成应用 (图4)。

SI住宅内装设计是保证居住基本性能要求的设计, 决定着住宅的舒适性、安全性、耐久性以及将来的更新维修难易度等重要部分。示范项目在保证内装基本功能的基础上, 进一步考虑满足日常维修以及将来内装更新的要求, 通过采用住宅内装工业化技术将产品与技术整合, 结合成套技术的研发, 形成住宅生产的工业化; 力求通过住宅技术集成体系提高住宅工业化程度, 全面地提高住宅性能和居住品质。在关键集成技

术方面,重点进行加快技术整合和优化建筑体系的工作,研发住宅内装部品化集成技术、SI住宅内装分离与管线集成技术、隔墙体系集成技术、围护结构内保温与节能集成技术、干式地暖节能集成技术、整体厨房与整体卫浴集成技术、新风换气集成技术、架空地板系统与隔声集成技术和环境空间综合设计与集成技术等10多项核心技术与集成技术体系。项目实施前,预先通过两套SI住宅户型样板间的搭建,探讨了SI住宅的具体工法。

3.1 墙体与管线分离设计及其部品技术

墙体与管线分离技术的关键主要是实现了户内排水立管水平出户的连接方式,应用了特殊的排水系统及其部品。建筑结构的使用年限在70年以上,而内装部品和设备的使用寿命多为10~20年左右。也就是说在建筑物的使用寿命期间内,最少要进行2~3次内装改造施工,要把寿命短的东西变得容易更换。而现在国内的内装多将各种管线埋设于结构墙体和楼板内,当改修内装的时候,需要破坏墙体重新铺设管线,给楼体结构安全带来重大隐患,减少建筑本身使用寿命,同时还伴随着高噪音和大量垃圾出现。在管线的施工中,现场很难发现施工错误,日常维护修理也是异常困难。因此,既为了提高内装的施工性,也兼顾日后设备管线的日常维护性,项目采用SI住宅的墙体和管线分离技术进行设计(图5)。

1) 架空地板系统设计及其部品技术

地板下面采用树脂或金属地脚螺栓支撑,架空空间内铺设给排水管线,实现了管线与主体的分离,且在安装分水器的地板处设置地面检修口,以方便管道检查和修理使用。架空地板有一定弹性,可对容易跌倒的老人和孩子起到一定的保护作用。在地板和墙体的交界处留出3mm左右缝隙,保证地板下空气流动,以达到预期的隔音效果(图6、7)。

2) 吊顶设计及其部品技术

采用轻钢龙骨吊顶,内部空间留作



6 架空地板系统专用部品



7 架空地板系统地脚螺栓部品



8 吊顶系统做法及专用部品



9 内保温双层墙体做法及专用部品



10 同层排水系统及专用部品



11 给水分水器系统及专用部品

铺设电气管线、安装灯具及更换管线以及设备使用。将各种设备管线铺设于轻钢龙骨吊顶内的集成技术,可使管线完全脱离住宅结构主体部分,并实现现场施工干作业,提高施工效率和精度,同时利于后期维护改造(图8)。

3) 内保温双层墙设计及其部品技术

承重墙内侧采用树脂螺栓,外贴石膏板,实现双层墙做法。架空空间用来铺设电气管线、开关、插座,同时可作为采用内保温所需空间。与砖墙的水泥找平做法相比,石膏板材的裂痕率较低,粘贴壁纸方便快捷。墙体温度也相对较高,冬季室内更加舒适(图9)。

以上3种SI管线与墙体分离技术做法可以将住宅室内管线不埋设于墙体内部,使其完全独立于结构墙体外,施工程序明了,铺设位置明确,施工易管理,后期易维修,将来内装易改修是此技术的核心所在。

3.2 户外公共管井设置与板上同层排水部品技术

目前,国内多采用板下排水方式,万一发生漏水,或是修理问题都会殃及楼下住户,同时排水的噪音也是令使用者烦恼的事情之一。因此,示范项目在公共楼道部分设置公共管道井,尽可能地将排水立管安装在公共空间部分,再通过横向排水管将室内排水连接到管道井内。在室内采用同层排水技术是将部分楼板降板,实现板上排水。同时,管道井内采用排水集合管,连接两户排水

横管,节省材料(图10)。此排水集合管是铸铁加工而成,拥有60年以上的使用寿命,耐久性极强,同时通过排水集合管管径的变化,实现排水的螺旋下落,留出通气空间,因此不需要设置通气管即可实现经济、高效的安全排水。

3.3 给水分水器系统及其部品技术

给水分水器采用高性能可弯曲管道,除了两端外,隐蔽管道无连接点,漏水概率小,安全性高。每个用水点均由单独一根管道独立铺设,区别于传统管道的分岔、分岔、再分岔的给水方式,流量均衡,即使同时用水压力变化也很小,用水感觉很流畅。口径小(直径16mm)、节约用水,出热水所需时间缩短20%左右。在分水器安装位置设置检修口,便于定期检查及维修(图11)。

3.4 新风负压式换气设计及其部品技术

随着住宅密闭性的提高,以及对室内有害气体的关注,住宅需要进行定期换气来保证室内空气质量。负压式换气就是通过换气设备强行排放室内空气,使室内形成负压,从而通过设置在墙壁上的带有过滤网的送气口吸入户外的新鲜空气,有效地去除沙尘,将干净的空气送到各个房间。即便是沙尘漫天的春季,蚊虫萦绕的夏季,冰雪寒冷的冬季,也可以不开窗即可呼吸到户外新鲜的空气,为使用者带来舒适的室内感受。为了防止户外空气直接吹向人体带来的不适,将送风口设置在距地面2m高的地方,尽可能远离床头,风口朝上

设置。此外，为了确保室内空气的流动，各房间房门下部要留出10mm的空隙。图12为一款全热性交换功能的换气机，更适合北方寒冷地区使用，更加舒适环保。其缺点就是体量较大，因而在设计阶段充分考虑了安装位置以及管线铺设空间的预留问题。

3.5 日常检修维护设计与部品技术

为满足设备定期检修及更换需要，示范项目针对换气设备在其附近设置天花检修口，对给水分水器设备在其上方设置地面检修口或墙面检修口；对较长横排水管接头附近设置管道检修口，采用带有检修口的排水集合管等一系列措施，保障设备管线的正常使用。

3.6 轻质隔墙系统设计与部品技术

室内采用轻钢龙骨或木龙骨隔墙，根据房间性质不同龙骨两侧粘贴不同厚度、不同性能的石膏板。需要隔音的居

室，墙体内填充高密度岩棉；隔墙厚度可调，因而可以尽量降低隔墙对室内面积的占有。此类隔墙，墙体厚精度高，能够保证电气走线以及其他设备的安装尺寸。同时，隔墙在拆卸时方便快捷，又可以分类回收，大大减少废弃垃圾量(图13)。缺点是相对来说成本较高。

3.7 厨房横排烟设计与部品技术

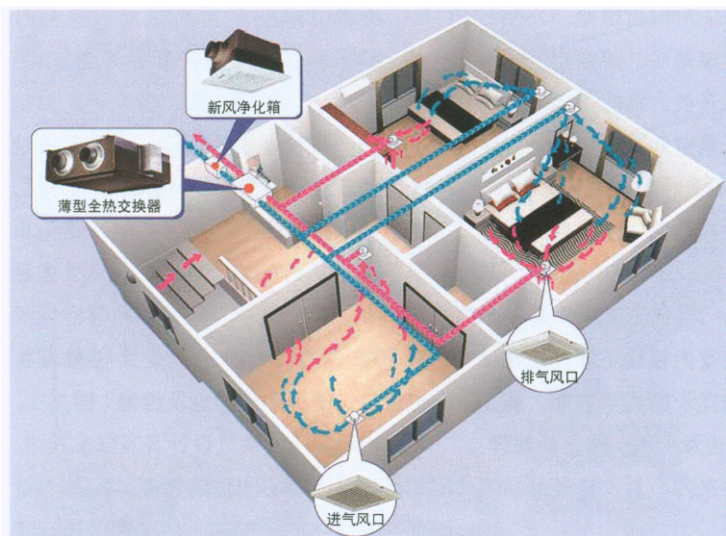
国内大多数的厨房设有上下层贯通的烟道，将油烟由屋顶排出。此类烟道存在上下层隔音差、火灾发生时通过烟道火势迅速蔓延、常年累月的使用使烟道内油腻不卫生等问题。示范项目取消排烟道，直接将抽油烟机的排风口设置在阳台外窗上方，独户完成排烟。为了减轻油烟对外墙壁的污染，相配套的抽油烟机需要拥有较高的油烟过滤能力(图14)。

3.8 内保温设计与部品技术

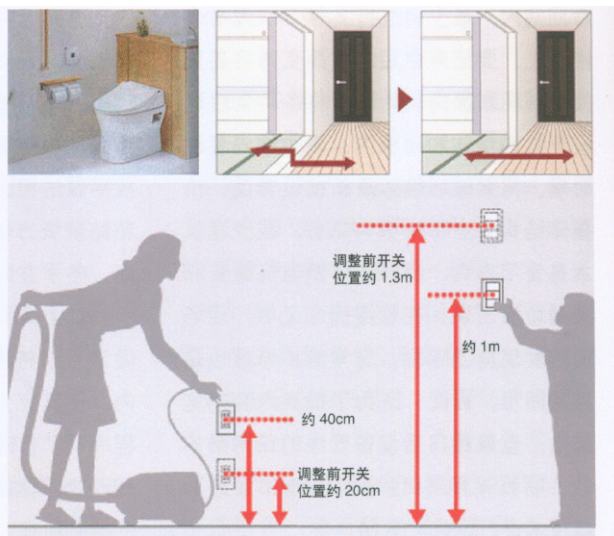
项目引进日本广泛采用的内保温施工工艺，在双层贴面墙架空空间内喷射内保温材料，外墙保温以及冷桥处实施强化处理，采用55mm厚的聚氨酯保温层，从而达到了北京地区要求的节能标准。与外保温工艺相比，内保温工艺施工安全，造价较低，不会出现外墙面砖脱落现象。从长远看，外保温更新需要拆卸外墙表层部分，施工时间长，规模大，耗资大。而内保温可以同内装一同更新，施工简单，周期短，随时可以进行维修，大大减轻住户的经济负担。

3.9 干式地暖设计与部品技术

为了达到既舒适又节能的居住效果，项目采用通过燃气壁挂炉供暖的干式地暖，实现独户采暖。根据气温的变化，精确控制室内温度，不用再等待采暖期的到来，也无需忍耐室内过热或是过冷的不适，更人性化，更舒适。采用



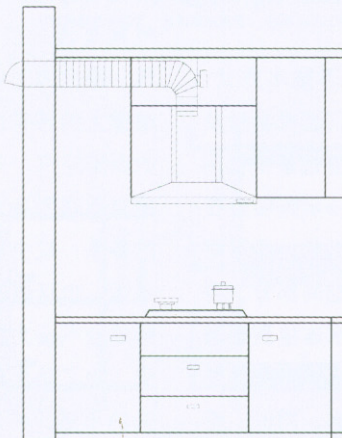
12 新风负压式换气系统与部品



16 适老性设计技术



13 轻质隔墙设计与部品



14 厨房横排烟设计与部品



15 整体厨房部品



17 项目内装实景

内保温为独户采暖提供了先决条件。内保温有助于采暖设备在短时间内迅速提高室内温度，有效节省能源；由于采用内保温材料，室内空气与外墙没有直接接触，所以在较短时间内加热室内空气，提供舒适的生活空间。而外保温体系需要24小时不间断加热才能保证楼栋的整体温度，保证每户的室温温度，能耗较大，效率较低。

3.10 整体浴室设计与部品技术

为了提高浴室的防水性、耐久性、施工方便性和使用上的舒适性，项目采用工厂化生产，施工现场拼装的整体浴室。国内住宅中浴室漏水问题极为普遍，而整体浴室的底部防水底盘可以做到半永久防水，为住户生活提供了根本保障。淋浴和浴缸一体的整体浴室，同时安装浴室专用空调机，提高入浴时的舒适度。

3.11 整体厨房设计与部品技术

项目采用整体厨房设计与标准化部品集成技术，统筹考虑作为家庭服务区的厨房空间内各种部品、设备以及管线的合理布局与有效衔接，整合模块化、标准化的厨柜系统，实现操作、储藏等不同功能的统一协作，使其达到功能的完备与空间的美观。同时，通过开敞的布局形式，实现空间层次的丰富性，同时增进家人之间的感情交流（图15）。

3.12 满足老龄化需求设计及其技术

项目采用了满足老龄化需求系统设计。室内不出现15mm以上的高度差，开关的设置高度为距地面1000mm，插座的高度为距地面400mm；在玄关、厕所、浴室安装扶手，并在卧室和厕所设置紧急呼叫按钮等一系列无障碍设计措施（图16）。



18 卫生间内装实景

4 结语

日本对集合住宅生产工业化实践的积极探索，使其在住宅生产工业化方面处于世界领先水平，展现了鲜明特征。深入研究住宅工业化的课题，借鉴日本集合住宅的生产工业化的建设经验，不仅对当前中国住宅与房地产行业发展的相关问题探索和解决提供有益的启示，也必将对推动我国的住宅产业化发展起到积极促进作用。

北京雅世合金公寓示范项目SI住宅内装工业化与部品技术开发，通过住宅部品集成技术和结构主体、内装与设备集成的集成技术实现了SI住宅体系（图17、18），基本达到了预定的目标。第一，完成了标准化结合部品化的SI住宅设计方法。标准化设计为工厂集约化生产批量定型产品，完成模块部品来实现多样化需求。第二，完成了工业化建筑内装体系的构建及其应用。通过内装部品的研究，其体系性的集成应用保障了住宅的品质。第三，大量通用化住宅部品的初次采用供应。住宅内装的各个部分都有通用部品，例如整体卫浴部品不仅需要通用部品组合，而且研究了部品之间的接口问题。第四，现场干法施工装配的工法研发与新型施工工序及其管理等方面做出了有益的尝试，从根本上杜绝了传统工法中的现场湿作业，干式作业的方式利于建筑质量的精确控制。雅世合金公寓项目借鉴SI住宅体系在实践中应用了具有我国自主研发和集成创新能力的工业化住宅体系与建造技术，力求全面解决当前我国住宅寿命短、耗能大、建设通病严重、供给方式上的二次装修浪费等问题。项目主要工业化集成

技术结合普适性中小套型的SI住宅设计及技术集成等，实践了大空间配筋混凝土砌块剪力墙结构与建造工法技术集成，SI内装分离与管线集成技术，隔墙体系集成技术，围护结构外内保温与节能集成技术，干式地暖节能技术，整体厨房与整体卫浴集成技术，新风换气集成，架空地板系统与隔声集成技术，环境空间综合设计与技术集成。

注释

- 1)CHS: 英文全名为 Century Housing System, 目的是为了提升住宅的耐久性和社会性, 也可说是在遵照 KEP 的基础上追求 NPS 系统的多样性的一种新住宅建筑体系。CHS 住宅建筑体系将住宅部品材料按照使用年限分成不同档次, 为达到住宅的长时间使用目的, 通过简单地更换更新, 实现住宅的长寿命, 也为日后的 SI 住宅理念的形成打下了基础。
- 2)SPH: 英文全名为 Standard of Public Housing(1965-1975), 是一种标准设计方式, 为了实现高品质住宅的大量生产。
- 3)KEP: 英文全名为 Kodan Experimental Housing Project(1973-1981), 日本住宅公团开发的试验住宅建筑体系, 提出住宅部品的分割规则, 将住宅的各部分分成部品组合体, 进行工厂生产, 从而达到住宅建设期间的省力高效的目的。
- 4)NPS: 英文全名为 New Planning System, 脱离 SPH 标准设计带来的单一性, 满足设计需求的新型政府住宅的标准化与系列化的住宅建筑体系, 开发了自由面积型系列户型。

参考文献

- [1] 住宅生产研究会. 住宅生产供给の展望 [M]. 东京: ケイブン出版株式会社, 1991.
- [2] 内田祥哉. 建筑工业化通用体系 [M]. 姚国华, 等译. 上海: 上海科学技术出版社, 1983.
- [3] (日) 彰国社. 集合住宅实用设计指南 [M]. 刘东卫, 等译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [4] 吴东航, 张林伟. 日本住宅建设与产业化 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [5] 建筑思潮研究所. SI住宅——集合住宅のスケルトン・インフィル [M]. 东京: 建筑资料研究社, 2005.

图片来源

- 图1、2: 市浦设计事务所对合金公寓项目的技术研发报告。
图6、7、9: 日本 FUKUVI 化学工业公司提供。
图10: 积水工业化学公司提供。
图12: 广东松下环境系统有限公司提供。
其他图片作者自绘或自摄。

作者单位: 1 (株)市浦设计
2 中国建筑标准设计研究院(北京, 100044)
收稿日期: 2012-03-28