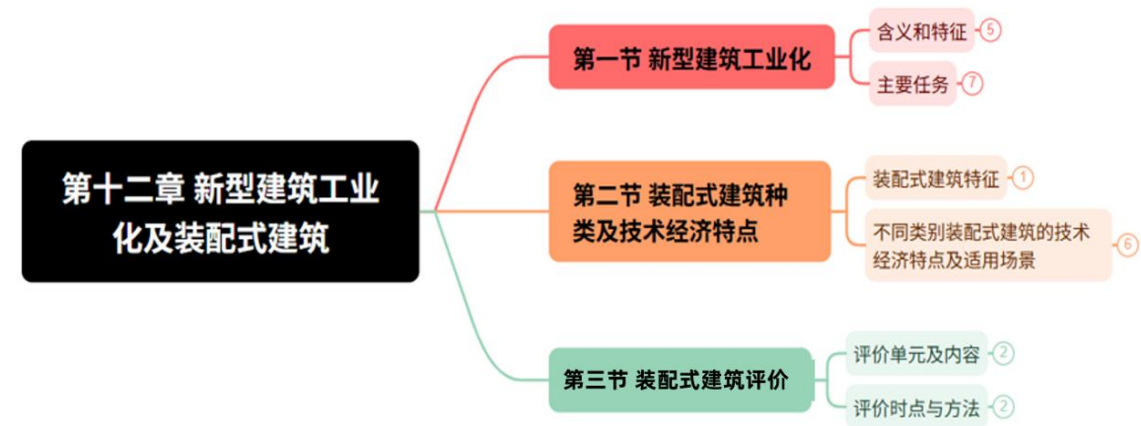


第十二章

新型建筑工业化及装配式建筑

【教材结构】



第一节

新型建筑工业化

【本节主要内容】

一、新型建筑工业化的含义和特征

二、新型建筑工业化的主要任务

一、新型建筑工业化的含义和特征★★★★

新型建筑工业化是指通过新一代信息技术驱动，以工程全生命期系统化集成设计、精益化生产施工为主要手段，整合工程全产业链、价值链和创新链，实现工程建设**高效益、高质量、低消耗、低排放**的建筑工业化。

新型建筑工业化具有以下基本特征。

（一）模数协调基础上的标准化、系统化、集成化

通过模数协调，以标准尺寸为基础进行设计，确保建筑、结构、设备等各专业之间的精准对接，将分散、粗糙、手工式建造方式，转变为集中、精益、社会化大生产建造方式。

如装配式建筑将大量混凝土浇筑、构件加工的现场湿作业转为标准化的梁、楼板、墙板、柱子、楼梯、整体厨房、整体卫生间、门窗等部品部件，有的进一步集成为功能独立、尺寸协调的“模块”单元，有的甚至在工厂完成大部分装修和设备管线集成，然后像“搭积木”一样在现场快速组装成模块化建筑。

而现场浇筑的工业化核心在于模数协调基础上的标准化体系构建，减少传统现场浇筑的质量离散性、效率波动性问题，使定型模板重复使用率、现场混凝土浇筑一次验收合格率、

标准部位构件现场浇筑施工工效提升率等指标大幅提升。

（二）标准化基础上的多样化且高品质化

建筑产品从“毛坯现场加工品”转向“标准化多样化高品质建造品”。

标准化是工业化的基石，通过统一规定建筑部品部件的尺寸、规格、性能、接口，实现通用性和可互换性，为大规模生产创造条件。

标准化基础上的多样化，是新型建筑工业化适配多元场景的核心特征。

构件标准化率是标准化构件占总构件的比例，有助于统一模数与节点设计，保障构件一次验收合格率得到提升。

（三）数智技术驱动的建筑全产业链协同化

数智技术正在重塑建筑全产业链协同模式，以BIM、数字孪生、物联网（IoT）、AI等为核心技术底座，以工业化思维打通设计、生产、施工、运维全流程数据壁垒。

（四）机械化施工基础上的智能化

随着建筑工业化的推进，施工现场大量使用塔吊、爬升平台等专用施工机械，减少对人力的依赖，推动以机械吊装和连接技术为核心的智能化升级。

（五）价值链和创新链基础上的高效益、高质量、低消耗、低排放

可提高施工现场混凝土浇筑机械化作业率、商品混凝土泵送效率和施工现场钢筋加工绑扎效率等。同时，产业链协同度、建筑业人均产值等指标也得到逐步提升。系统性发挥新型建筑工业化在质量、效率与成本方面的综合优势，可缩短项目整体设计周期。

二、新型建筑工业化的主要任务★★★

（一）加强系统化集成设计

- （1）推动全产业链协同。
- （2）促进多专业协同。
- （3）推进标准化设计。
- （4）强化设计方案技术论证。

（二）优化构件和部品部件生产

- （1）推动构件和部件标准化。
- （2）完善集成化建筑部品。
- （3）促进产能供需平衡。
- （4）推进构件和部品部件认证工作。
- （5）推广应用绿色建材。

（三）推广精益化施工

（1）大力发展钢结构建筑。

鼓励医院、学校等公共建筑优先采用钢结构，积极推进钢结构住宅和农房建设。

（2）推广装配式混凝土建筑。

在保障性住房和商品住宅中积极应用装配式混凝土结构，鼓励有条件的地区全面推广应用预制内隔墙、预制楼梯板和预制楼板。

（3）推进建筑全装修。

（4）优化施工工艺工法。

（5）创新施工组织方式。

（6）提高施工质量和效益。

（四）加快信息技术融合发展

（1）大力推广BIM技术。

（2）加快应用大数据技术。

（3）推广应用物联网技术。

推动传感器网络、低功耗广域网、5G、边缘计算、RFID及二维码识别等物联网技术在智慧工地的集成应用，发展可穿戴设备，提高建筑工人健康及安全监测能力，推动物联网技术在监控管理、节能减排和智能建筑中的应用。

（4）推进发展智能建造技术。

开展生产装备、施工设备的智能化升级行动，鼓励应用建筑机器人、工业机器人、智能移动终端等智能设备。推广智能家居、智能办公、楼宇自动化系统，提升建筑的便捷性和舒适度。

（五）创新组织管理模式

（1）大力推行工程总承包。

（2）发展全过程工程咨询。

（3）完善预制构件监管。

（4）探索工程保险制度。

（5）建立使用者监督机制。

（六）强化科技支撑

（1）培育科技创新基地。

（2）加大科技研发力度。

(3) 推动科技成果转化。

(七) 加快专业人才培养

(1) 培育专业技术管理人才。

(2) 培育技能型产业工人。

(3) 加大后备人才培养。

第二节

装配式建筑种类及技术经济特点

【本节主要内容】

一、装配式建筑特征

二、不同类别装配式建筑的技术经济特点及适用场景

一、装配式建筑特征★★★★★

装配式建筑的主要特征可概括为“六化”,即**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、智能化应用**。

(一) 标准化设计

标准化设计是指对于通用装配式构件,根据其共性条件,制定统一的标准和模数,开展适用性范围比较广泛的设计。

(二) 工厂化生产

装配式建筑利用工业化生产方式,实现由大量施工现场作业向工厂化生产作业转化。

(三) 装配化施工

装配式建筑利用现代机械化设备和先进的施工手段,实现将传统现浇施工或手工湿作业向部品部件的装配安装与可靠连接转化。

(四) 一体化装修

在工程建设初期,通过策划将建筑、结构、内装、机电等各专业的要求与模数在设计阶段提前植入,进行整体统筹安排,以避免后期施工中出现碰撞,浪费人力与物料。

(五) 信息化管理

装配式建筑在设计阶段采用BIM技术进行立体化设计和模拟,避免设计错误和遗漏;生产中预埋信息芯片,“虚拟构件”有了对应的专属编码(ID),可实现工程建设全过程质量追溯;利用BIM输入项目技术信息,模拟施工过程,确定场地平面布置、制定施工方案、确定吊装顺序,进而决定预制构件的生产顺序、运输顺序、构件堆放场地等,实现施工过程可视化模拟和可视化管理。

（六）智能化应用

融合应用现代智能化信息技术，将各种智能化设备和建筑机器人在各式各样的装配式建筑中加以集成应用。从而使装配式住宅建筑、公共建筑等实现通信自动化、办公自动化、设备设施自动化，打造高效且舒适的建筑环境。

【真题】装配式建筑的特征（ ）。

- A. 标准化设计
- B. 工厂化生产
- C. 信息化管理
- D. 装配化装修
- E. 一体化施工

答案：ABC

解析：装配式建筑的主要特征可概括为“六化”，即标准化设计、工厂化生产、装配化施工、一体化装修、信息化管理、智能化应用。

二、不同类别装配式建筑的技术经济特点及适用场景

按照建筑结构体系及构件材料不同，装配式建筑通常可分为装配式混凝土建筑、钢结构建筑、木结构建筑及组合结构建筑等。

（一）装配式混凝土建筑★★★★

国际上将装配式混凝土建筑称为PC建筑。根据《装配式混凝土建筑技术标准》（GB/T51231—2016），装配式混凝土建筑是指建筑的结构系统由混凝土部件构成的装配式建筑。

1. 装配式混凝土建筑特点

与传统的混凝土现浇建造建筑相比，装配式混凝土建筑具有以下特点。

（1）设计集成化与标准化程度高。

依托装配式建筑的设计标准、手册、图集、部品部件库等，从多方面为标准化设计提供支撑，选择标准化部品部件满足功能要求。同时，在标准化设计中融入个性化需求，可以进行多样化组合。

（2）构件质量稳定，尺寸精度可控。

预制构件采用高性能混凝土，结构耐久性可提升至70年，较传统现浇建造方式延长20年。

（3）可缩短施工周期，减少人工投入。

装配式混凝土建筑总体上可缩短施工现场工期，减少人工，其减少程度与装配率、主体结构预制率相关。

(4) 可节约资源, 环保效益显著

- 1) 通过工厂预制构件与现场干式连接技术, 可显著优化湿作业流程, 大幅降低湿作业量。
- 2) 工厂化生产模式下, 模具材料消耗量较传统现浇大幅减少, 标准化构件设计使模具复用率大幅提升, 单套模具可覆盖多项目需求, 显著降低木材、钢材等耗材用量。
- 3) 预制构件表面粗糙度和垂直度偏差得到有效控制, 可直接作为饰面基层, 取消传统找平层和抹灰层。同时, **可减少现场脚手架搭设面积近一半。**
- 4) 装配式建筑通过部品集成化设计, 将围护系统、保温系统与主体结构同步预制, 减少现场二次加工。设备管线在预制阶段预埋定位, 避免现场开槽导致的材料损耗, 可大幅提升管线综合利用率。
- 5) **装配式施工可减少混凝土现浇量60%~70%, 相应降低养护用水量约25%。预制工厂采用循环水养护系统, 水资源重复利用率可达80%。**
- 6) **装配式混凝土建筑可将混凝土振捣作业减少90%,** 模板切割、钢筋加工等高噪声工序转移至工厂, **现场噪声峰值可从85dB(A) 降至65dB(A)。** 模板节约率提升, 脚手架周转次数增加, 综合施工效率提高。装配式混凝土施工采用封闭式预制车间与移动式抑尘系统, 扬尘浓度可控制在 $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ 以下, 与传统工地的 $2.0\sim 3.0\text{mg}/\text{m}^3$ 相比, 可降低75%。

(5) 建造成本偏高。

与传统的混凝土现浇方式相比, 装配式混凝土建筑成本偏高的原因如下。

- 1) **工厂建设等前期投入高。** 装配式混凝土建筑需建设专用工厂及生产线, 购置模具、设备等固定资产, 初期投资远高于传统现浇方式。工厂建设还需承担土地、构件生产相关税收等成本。
- 2) **运输与吊装费用高。** 预制构件因体积大、重量重, 运输需专用车辆及路线规划, 长途运输成本显著增加。现场安装需大型塔吊等设备, 且吊装作业对场地条件和操作技术要求较高, 进一步增加机械租赁及人工费用。
- 3) **标准化程度不足。** 当前装配式建筑标准化设计尚未普及, 构件规格多样导致模具重复利用率低, 材料浪费和加工成本增加。
- 4) **施工管理难度大。** 装配式施工需协调工厂生产与现场安装的进度, 对施工组织和技术要求更高。预制构件安装需精准定位, 拼缝处理、节点连接等工序复杂, 且需额外支撑体系保障安全, 会增加人工和管理成本。
- 5) **规模效应未形成。** 装配式混凝土建筑市场渗透率低, 单体建筑预制率较低时, 建造成本会增加。只有当区域项目规模达到 20万m^2 以上时, 建造成本才可能与传统的现浇方式持

平。

6) **设计阶段需额外考虑节点连接、防水等细节，深化设计费用较高。**

7) **产业工人短缺。**装配式施工依赖高技能工人操作吊装、连接等工序，但目前相关技术人才储备不足，培训成本高，导致施工效率低下。

8) **装配式混凝土建筑需缴纳新型墙体材料专项基金等附加费用，会进一步增加成本。**

(6) 装配式混凝土建筑技术创新可持续优化迭代。

与传统的混凝土现浇方式相比，装配式混凝土建筑技术更容易持续积累、优化和迭代，这些创新技术和措施正在不断降低装配式混凝土建筑成本。

2. 装配式混凝土建筑适用场景

装配式混凝土建筑的适用场景主要如下。

(1) 政府投资或主导的公共建筑。这类建筑通常标准化程度高、社会关注度高且政策导向性强，符合装配式“模数化、批量化”生产需求。

(2) 保障性住房及中小户型住宅。这类建筑户型标准化程度高、构件重复性强，能有效降低模具摊销成本，契合装配式“规模化生产”要求。在技术上，“标准化设计+工厂化生产”可解决保障性住房“户型单一、需求量大”的痛点。

(3) 工业建筑与仓储物流园区。这类建筑对工期和成本控制要求高，且“大空间、少梁柱”的结构特点适配装配式技术。装配式“工厂预制+现场装配”模式可大幅缩短工期，同时可降低现场施工风险，减少建筑垃圾排放。

(4) 市政基础设施。这类设施标准化程度高、施工环境复杂，装配式混凝土结构可有效解决现场污染大、工期长的问题。地下综合管廊、地铁管片等已广泛应用装配式混凝土结构。

(5) 农村住房与民宿等文旅设施。这类建筑对绿色、环保、个性化需求大，且“低层、分散”特点适配装配式技术。“工厂预制+现场装配”模式可减少施工的扬尘、噪声污染，符合乡村振兴绿色要求。

装配式混凝土建筑并非适用于所有场景。超高层建筑因高烈度抗震、风荷载大，对构件连接强度和抗震性能要求极高，技术尚待完善；体育馆、展览馆等大跨度结构需采用钢-混凝土组合结构等新型装配式体系；特殊工艺要求的化工厂房、超净环境厂房等工业建筑采用时需经专家进行论证。

(二) 钢结构建筑★★★★

1. 钢结构建筑特点

(1) 轻质高强，基础与运输成本显著降低。

钢材屈服强度远高于混凝土，在承载力相同的条件下，钢结构构件尺寸远小于混凝土构件，自重仅为混凝土结构的 $1/3 \sim 1/2$ ，其中，高层钢结构自重为 $1.5 \sim 2.0 \text{ kN/m}^3$ ，混凝土结构则为 $3.0 \sim 4.0 \text{ kN/m}^3$ ，可使基础工程造价降低 $20\% \sim 40\%$ 。同时，轻质构件便于长途运输，现场安装无需大型起重设备，可大幅提升安装效率。

(2) 工业化建造，施工周期缩短且成本节约。钢结构采用工厂预制与现场装配相结合的模式，构件在工厂完成切割、焊接、涂装等工序，现场仅需通过螺栓或焊接连接，实现全程干作业，无需现场浇筑混凝土。

(3) 全生命周期成本优化，长期效益有优势。尽管钢结构初始材料成本略高，但全生命周期成本（初始成本、维护成本和拆除成本）有一定优势。拆除阶段，钢结构构件可实现100%回收再利用，回收率超过90%，回收价值约为初始钢材成本的 $30\% \sim 40\%$ ，远高于混凝土结构不足5%的回收价值。

(4) 空间利用效率高，间接提升经济效益。钢结构构件尺寸比混凝土构件小，且高层钢结构建筑的有效使用面积比混凝土结构高出 $6\% \sim 8\%$ 。以 100 m^2 住宅为例，可额外增加 $6 \sim 8 \text{ m}^2$ 使用空间，显著提升建筑使用价值。

(5) 抗震与抗动力荷载性能好，隐性经济效益好。钢结构质地均匀、塑性韧性优良，延性系数远高于混凝土，能有效吸收地震能量，降低建筑倒塌风险。在西南、西北等地震高发地区，钢结构建筑的灾害损失成本包括人员伤亡、财产损失，明显低于混凝土结构建筑。

2. 钢结构建筑适用场景

钢结构建筑可分为**重钢结构和轻钢结构**。

重钢结构的承重采用型钢，且有较大承载力，**适用于高层建筑**。

轻钢结构以薄壁钢材作为构件的主要材料，内嵌轻质墙板，**一般用于多层建筑或低层建筑**。

钢结构广泛应用于工业建筑和民用建筑，**工业建筑包括大跨度工业厂房、单层厂房、仓储库房等。民用建筑既包括体育场、展览馆、机场等公共建筑，也包括低层和高层钢结构住宅、低层轻钢结构住宅。**

钢结构建筑**适用于温度不高于 250°C 的场景**。具有一定的耐热性。温度在 250°C 以内，钢的性质变化很小；温度达到 300°C 以上，强度逐渐下降；达到 $450 \sim 650^\circ\text{C}$ 时，强度降为0。在有特殊防火要求的建筑中，钢结构必须用耐火材料予以维护。