

建筑与制造融合，数据赋能产业链重塑

建筑新常态，拥抱新机遇

步入 21 世纪 20 年代后，随着国民经济的不断发展，城市化进程逐渐趋于饱和，加之国家宏观政策调整，建筑行业进入调整期。建筑行业整体处于下行，在低价竞争中，成本难以控制，建筑企业利润越来越低。2022 年，建筑行业产值利润率仅为 2.68%，相比 2021 年下降 0.21%，已经连续 6 年下降，连续 2 年利润率不足 3%。与此同时，建筑行业工程周期普遍紧张，缺乏各类技术工人，工人平均年龄持续增加等问题对工程质量产生直接的负面影响。2022 年，建筑业从业人数比上年末减少 98.92 万人，减少 0.31%，连续 4 年减少。





(以上数据来源: 中国建筑业协会《2022年建筑业发展统计分析》)

建筑行业还存在很多问题, 从技术流程层面, 工程实施流程割裂的情况依旧没有得到真正的改善, 设计、承包商和供应商之间脱节, 信息交流不畅, 给人才和生产力都带来了挑战。很多项目依然在使用二维图纸, 二维图纸存在不直观、耗时、易出错等特点。专业间未交圈, 承包商协作问题, 都可能导致增加变更和项目成本。行业碎片化, 产业链利益分配不合理, 没有优化加工 / 制造环节, 会导致增加大量重复的人工劳动。

在双碳减排的大时代背景下, 来自环境方面的压力也不容忽视, 有报道指出, 当前全球 40% 的固体废弃物来自于建筑行业, 全球 50% 的材料消耗同样来自建筑业。建筑企业不约而同的在探索更加可持续的施工方式。

在多重因素的影响下, 建筑企业依托建造技术的不断优化与数字技术的多年迭代, 双轮驱动使得建造方式也在发生明显的变化。预制、装配式、模块化建造这些新的工业化建造方法, 正在帮助领先的建筑企业更好地提升现场实施效率, 降低安全风险, 改善工程质量, 建立独特的行业竞争优势。

工业化建造, 是把建筑工程与制造联系起来, 通过制造技术在建造环境中的应用, 降低现场所需的劳动强度和水平。工业化建造与绿色建筑、智能建造是中国在“十三五”期间提出的建筑业三个关键发展方向之一。



根据麦肯锡 2020 年《建筑业新常态》报告, 45% 的建筑行业价值将从传统的开发和建设流程中转移, 而预制装配将增加到建筑业收入的 30% 左右。



技术发展演变及政策背景

工业化建造发展及演变

在我国工业化建造发展始于 20 世纪 50 年代，在“一五”计划中提出借鉴苏联及东欧各国经验，在国内推行标准化、工厂化、机械化的预制构件和装配式建筑。20 世纪 80 年代后，由于唐山大地震中预制装配式建筑破坏严重带来了对其抗震性能的担忧，我国的建筑工业化发展进入低潮期，并且随着各类模板、脚手架和高混的普及，现浇混凝土施工得到了广泛的推广。进入 2010 年以后，由于人口红利消失，建筑业农民工减少，劳动力成本大幅上升，工业化建造又重新成为行业备受关注的技术。2014 年以来，中央及全国各地政府均出台了相关文件明确推动建筑工业化，形成了如装配式剪力墙结构、装配式框架结构、装配式钢结构等多种形式的装配式建筑技术，我国工业化建造迎来了新的快速发展时期。

在信息技术和数字技术飞速发展的新时代，工业化建造将由早期的标准化、机械化、部品化和装配化为标志和内容，升级为**新型工业化建造**，这是以建筑为最终产品，运用现代工业化的组织和手段，对建筑生产全过程、各阶段、各生产要素的系统集成和资源优化，达到建筑设计标准化、构件生产工厂化、建筑部品系列化、现场施工装配化、土建装修一体化、管理手段信息化、生产经营专业化，并形成有机的产业链和有序的流水式作业。

根据驱动因素的差异，工业化建造技术可分成三个主要类别，这三种方式所采用的底层设计方法可以认为是一致的。

单专业场外预制是行业最为常见和熟悉的工业化建造方式，这是在成本和安全驱动因素下建造方式的变化，典型的如 PC 构件、预制叠合板、预制管道等。

多专业模块化装配，是为应对施工周期不断缩短的挑战，企业通过把多个专业构件进行场外预制和装配，再到现场进行安装，从而减少现场施工的时间，典型的如钢结构、配备机电管线的预制墙体和楼板、机电管架等。

多专业块体装配，是为减少材料浪费和建造时间，提高标准化程度的优化驱动设计与施工，可以理解为建筑由一些特定规格的模块构成，每个模块就集成除去主体结构以外的全部专业。

2012 年，美国建筑事务所 nArchitects 中标了 Carmel Place 小公寓项目 adAPT NYC。该项目位于曼哈顿基普湾社区，建筑总面积为 35000 平方英尺（3250 平方米），包含 55 个单位，每个单位规模在 250 至 370 平方英尺之间（23 到 34 平方米）。nArchitects 将建筑分成若干空间模块，模块内的一切设备、管线、装修、固定家具均已做好，外立面装修也已完成。这些模块构件设计和预制完成后被运至施工现场，就像“搭建积木”一样拼装在一起。

（以上数据来自于网络建筑杂志 Archdaily：《纽约模块化微型公寓的小规模试验项目是如何建成的》）

根据麦肯锡的统计，多专业模块化装配和多专业块体装配能够将项目进度加快 20% - 50%，同时减少高达 90% 浪费。多专业模块化装配可以认为是块体式装配的一个子集，这两个术语通常可以互换使用。

以上三种预制装配方式所采用的设计方法本质上是相同的——结果驱动的制造与装配设计，也就是 DfMA (Design



for Manufacture and Assembly)，企业根据客户的需求，以结果为导向，把建筑拆分为多个完全集成的模块，每个模块不一定完全相同，但每个模块实现全专业的装配设计和制造。DfMA 通常要兼顾对零部件的设计进行简化、标准化和模块化，而且考虑到生产和组装过程中可能遇到的问题，以确保产品的最终设计符合生产与组装的要求。

工业化建造政策背景

2017 年 2 月 《国务院办公厅关于促进建筑业持续健康发展的意见》。要坚持标准化设计、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，推动建造方式创新。力争用 10 年左右的时间，使装配式建筑占新建建筑面积的比例达到 30%。

2017 年 3 月，住房和城乡建设部一次性印发《“十三五”装配式建筑行动方案》、《装配式建筑示范城市管理办法》、《装配式建筑产业基地管理办法》三大文件，全面推进建筑工业化发展。

2020 年 7 月 3 日，住建部联合十三个部门联合印发《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》。提出要围绕建筑业高质量发展总体目标，以大力发展建筑工业化为载体，以数字化、智能化升级为动力，形成涵盖科研、设计、生产加工、施工装配、运营等全产业链融合一体的智能建造产业体系。

2020 年 08 月 28 日，住建部联合九部门联合印发《关于加快新型建筑工业化发展的若干意见》。提出：一、要大力培养新型建筑工业化专业人才，壮大设计、生产、施工、管理等方面人才队伍，加强新型建筑工业化专业技术人员继续教育，鼓励企业建立首席信息官（CIO）制度；二、

培育技能型产业工人。深化建筑用工制度改革，完善建筑业从业人员技能水平评价体系。打通建筑工人职业化发展道路，弘扬工匠精神，加强职业技能培训，大力培育产业工人队伍；全面贯彻新发展理念，推动城乡建设绿色发展和高质量发展，以新型建筑工业化带动建筑业全面转型升级，打造具有国际竞争力的“中国建造”品牌。

工业化建造技术价值

充分利用数字化技术、智能化设备和先进的制造技术，将建筑生产工艺工厂化、标准化和自动化，实现建筑模块化、装配化和智能化——新型工业化建造重新组织建筑业是提高劳动效率、提升建筑质量的重要方式，是我国未来建筑业的重要发展方向，对于建筑行业的价值主要体现在以下几个方面：

- 1) 提高建筑效率和生产效率：集成数字化技术和智能化设备，采用标准化和模块化的生产方式，使数据在产业链不同阶段得以充分利用，可以大幅提高建筑生产效率，节省建造时间。
- 2) 降低建筑成本：采用标准化、模块化和批量化的生产方式，通过信息化手段进行管理，可以大幅降低建筑材料和人力成本，从而降低建筑总成本。
- 3) 提高建筑质量和可靠性：采用工厂化生产方式，可以避免现场施工中的人为错误和不可控因素，从而提高建筑质量和可靠性。
- 4) 促进可持续发展：应用数字化技术，实现标准化和模块化的设计，可以实现资源的有效利用和节约，减少浪费，从而促进可持续发展。



Autodesk 的解决之道

新型工业化建造是生产方式和建造方式的深刻变革，对建筑企业提出了更高的要求，设计、制造、装配、安装等环节融合了建筑与制造行业的显著特点，对数据创建、应用和集成的能力要求更严格。其本质是融合发展建筑与制造的双重能力，核心在于高质量 BIM 模型的创建和复用，立足于数字技术的 DfMA（制造与装配设计）是新型工业化建造的基础。

相关产品：

PC 与模块化建筑

建筑、（混凝土）结构和机电设计建模：Revit

PC 深化及预制：Revit- 预制

钢结构深化设计：Revit、Advance Steel、Inventor

专业协调与冲突检查：Navisworks Manage

可视化展示：Revit + Twinmotion

数控加工：Inventor、PowerMill

产品及数据管理工具（可私有化部署）：Vault Professional

通用数据环境：Autodesk Docs/Autodesk BIM Collaborate

施工数字化管理平台：Autodesk Build

门窗与幕墙工程

门窗 & 幕墙施工图设计建模：Revit、Dynamo

门窗 & 幕墙加工模型创建：Inventor

可视化展示：Revit + Twinmotion

幕墙数控加工：PowerMill

通用数据环境：Autodesk Docs/Autodesk BIM Collaborate

施工数字化管理平台：Autodesk Build

产品及数据管理工具（可私有化部署）：Vault Professional

机电工程

机电设计与深化建模：Revit

机电预制分节：Revit-Fabrication

风管数控加工：Fabrication CAMDuct

通用数据环境：Autodesk Docs/Autodesk BIM Collaborate

施工数字化管理平台：Autodesk Build

产品及数据管理工具（可私有化部署）：Vault Professional



经典案例：

1、模块化房屋建造

项目名称：香港科技园创新斗室

完成单位：中集模块化建筑

相关产品：Revit、Inventor、Navisworks、Vault Professional、Autodesk BIM 360/Build



香港科技园创新斗室，项目占地面积 2948 平方米，总建筑面积 15300 平方米，这是一栋高 59.2 米，总共有 17 层的公寓建筑，也是香港第一个法定审批的模块化建造项目。中集模块化建筑充分发挥 DfMA（制造和装配设计）技术优势，在设计时即提前考虑制造和安装的要求，以高质量的模型指导设计、制造和现场的安装。

设计团队先是借助 Autodesk Revit 创建完整的建筑、结构和机电 BIM 模型，在 Navisworks Manage 中提前解

决各专业冲突，确保模型满足预制的先决条件，然后使用 Autodesk Inventor 创建模块化房屋的轻钢结构模型，用于指导工厂生产构件。BIM 模型与加工模型及其中的数据利用 Vault Professional 进行统一和协同管理，形成单一数据源。与业主对项目通过 BIM 360 进行协同管理，实现数字化在线检查，极大地提升了整个工程的实施效率。



每间房屋都是完全设计的、独立的集成模块，在预制厂房中实现自动化和即时制造，预先完成的建筑墙板、内部装饰和机电工程也集成在模块中。这些模块全部在江门工厂生产，然后通过物流运输到香港。整栋建筑包括总计 418 个完整的单元，借助升降架在现场进行吊装，由工人完成最后的连接及高精度安装，误差不超过 $\pm 2\text{mm}$ 。全部模型安装用时 71 天，比计划提前 12 个月。通过模块化建造的方式，不仅缩短了工程实施周期，还有效地提高了施工团队的生产力，改善了项目质量和减少了环境污染，项目安全也实现全面改善，现场 0 事故发生。



2、幕墙数字化设计与加工

项目名称：阜阳大剧院项目

设计单位：清华大学建筑设计研究院有限公司

幕墙设计：深圳市万德建设集团股份有限公司

幕墙钢结构设计：中国京冶工程技术有限公司

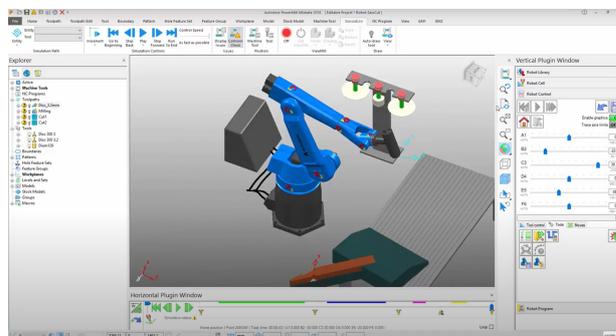
施工单位：中建八局第二建设有限公司

相关产品：Rhino、Revit、Inventor、PowerMill

阜阳大剧院，项目位于安徽省阜阳市城南新区，总建筑面积约为 5.57 万平米。大剧院整体幕墙曲折连续、蜿蜒回转，施工中对放线定位和焊缝质量都有较高的要求。为保障工程质量，施工方创新性的采用了双曲面幕墙钢结构施工技术及双曲面单元式玻璃幕墙施工技术，利用相关模型提取坐标点实现空间精准定位，然后再将近钢构在地面拼装焊接完成后用大型履带吊装机吊装拼接上去。

本项目幕墙包括大约 2500 榀单元体，每个单元体的尺寸和形状都不同，每个单元体有 4 根型材，总计约 10000 根。中建八局第二建设有限公司作为本工程的施工单位，得到外幕墙设计单位提供的模型后，在软件中对每个单元进行深化，再通过 PowerMill 处理深化的型材模型，导出 NC 代码驱动数控机床进行加工。

传统的型材加工流程是通过深化模型导出型材三视图，由工人按照型材三视图标注的尺寸在数控机床中转换为设备可读取的加工代码。由于本工程是双曲面幕墙，所有型材均为空间曲线构件，如果以传统方式工作，一方面工人无法准确的按照平面尺寸进行定位和输入代码，另一方面工作效率非常低。而采用 PowerMill 处理幕墙深化的型材模型后，可以实现自动化和批量化处理，在加工代码转换这一环节的效率能够提升至少 15 倍，并且真正实现模型驱动的生产 and 建造。



3、机电工程数字化预制加工

项目名称：鞍山百脑汇项目、深圳

完成单位：中铁建工集团安装工程有限公司

相关产品：Revit、Fabrication CADMEP、Navisworks、Fabrication CAMDuct

鞍山百脑汇科技广场工程是鞍山市地标性建筑，总建筑面积 132445.84 平方米，地上建筑总高度 168.80 米，为鞍山市的“第一高度”。

鞍山百脑汇项目为机电总承包工程，管线错综复杂，通过采用 BIM 技术，对管线进行优化排布，并结合二次开发软件进行 BIM 出图，指导现场施工。通过将 BIM 技术与数字化建造技术相结合，以 BIM 模型为依托，确定统一的预制构件库，把加工数据无缝传递至加工厂，加工厂将加工数据导入数字化生产设备进行自动化预制生产，预制构件运输至施工现场后进行现场拼装。将大部分加工由施工现场转移至加工厂，减少施工现场对技术工人的依赖，提高工作效率，降低工程造价。

中铁建工集团安装工程有限公司在鞍山百脑汇科技广场工程项目中实践并总结出基于 BIM 的机电工程数字化建造技术框架：

- 1) 通过采用 BIM 技术，基于 Revit 平台及二次开发软件，快速创建建筑、结构、机电和装修等相关模型，结合点云等模型，进行二次深化，模型精度达到 LOD300；
- 2) 根据数字化加工设备确定与之匹配的共享预制加工数据库，利用 Revit 软件将机电模型中的风管、桥架、水管等机电模型转换为数据库中的预制加工模型（亦可直接创建预制加工模型），进行 BIM 出图、报审，审批通过后对预制加工模型进行自动分段，根据实际预制加工情况对其进行优化，设置支吊架模型精度达到 LOD400；

3) 利用 Revit 软件和 Fabrication 系列软件生成预制加工数据、材料清单（包含编码及二维码信息）、三维安装示意图、支吊架放样点、成本等相关信息，将预制加工数据及材料清单发送至数字化加工基地，导入数字化加工设备，进行预制加工和自动化生产，对生产的预制加工构件进行质量验收、张贴二维码；

4) 将预制加工构件及材料清单运输至施工现场，进行扫码验收，并录入物资管理软件；

5) 采用放样机器人根据放样点信息进行放样，利用射钉枪进行支吊架高效安装，根据三维安装示意图及对应的材料清单对预制加工构件进行装配和少量加工；

6) 工程竣工验收后，竣工模型精度达到 LOD500，用于运维管理；

7) 数字化加工基地亦可基于 Fabrication 中 AutoCAD 平台，进行非 Revit 建模的机电工程项目数字化建造。

