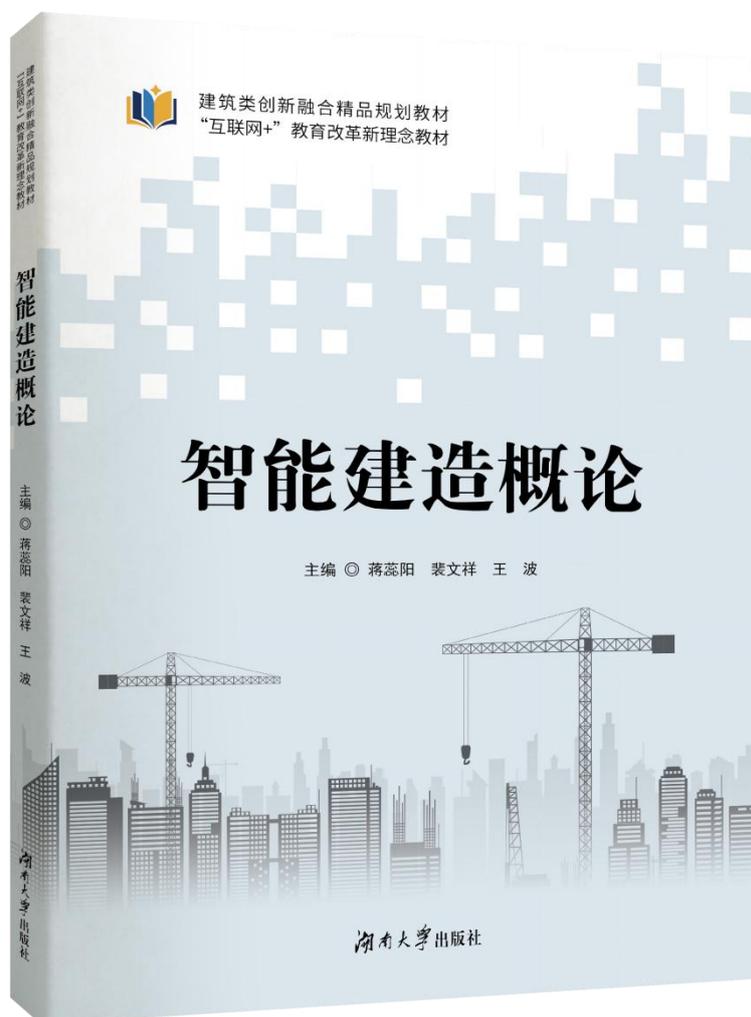


智能建造概论



类目：建筑类

书名：智能建造概论

主编：蒋蕊阳 裴文祥 王波

出版社：湖南大学出版社

开本：大 16 开

书号：978-7-5667-4380-0

使用层次：通用

出版时间：2025 年 12 月

定价：48.00 元

印刷方式：双色

是否有资源：有

责任编辑：蔡京声
封面设计：旗语书装

“互联网+”教育改革创新理念教材
建筑类创新融合精品教材



建筑类创新融合精品教材
“互联网+”教育改革创新理念教材

智能建造概论

主编 © 蒋蕊阳 裴文祥 王波

湖南大学出版社

智能建造概论

智能建造概论

主编 © 蒋蕊阳 裴文祥 王波



定价：48.00元

湖南大学出版社



建筑类创新融合精品教材
“互联网+”教育改革创新理念教材

智能建造概论

主 编 © 蒋蕊阳 裴文祥 王 波
副主编 © 赵文溪 周艳杰 吴双亮
魏国敏 郭 庆



湖南大学出版社

· 长 沙 ·

图书在版编目(CIP)数据

智能建造概论 / 蒋蕊阳, 裴文祥, 王波主编.

长沙: 湖南大学出版社, 2025. 12. --ISBN 978-7-5667-4380-0

I. TU74-39

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025KP9298 号

智能建造概论

ZHINENG JIANZAO GAILUN

主 编: 蒋蕊阳 裴文祥 王 波

责任编辑: 蔡京声

印 装: 唐山唐文印刷有限公司

开 本: 889 mm×1 194 mm 1/16

印 张: 11 字 数: 209 千字

版 次: 2025 年 12 月第 1 版

印 次: 2025 年 12 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5667-4380-0

定 价: 48.00 元

出 版 人: 李文邦

出版发行: 湖南大学出版社

社 址: 湖南·长沙·岳麓山

邮 编: 410082

电 话: 0731-88822559(营销部) 88821174(编辑部) 88821006(出版部)

传 真: 0731-88822264(总编室)

网 址: <http://press.hnu.edu.cn>

电子邮箱: xiaoshulianwenhua@163.com

版权所有, 盗版必究

图书凡有印装差错, 请与营销部联系

前 言



当前，我国建筑业持续快速发展，产业规模不断扩大，建造能力不断增强。同时，建筑产业也正经历着深化改革、转型升级和科技跨越同步推进的发展过程。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，成为建筑行业发展的时代要求。

智能建造技术在我国将迎来快速发展期。在智能建造技术发展的大背景下，数字化转型已成为我国工程建设类企业未来发展的必由之路。随着智能建造技术的日益发展和广泛应用，建筑行业对于掌握智能建造技能的人才需求日益旺盛。在国家“双碳”目标与高质量发展目标引领下，智能建造与新型建筑工业化协同发展已成为中国建筑业转型升级的必然选择。与此同时，面对我国对智能建造人才的迫切需求，培养适应建筑业未来发展需求、满足产业转型升级需要的创新型智能建造人才已经成为相关院校人才培养的重要任务与挑战。

本书涵盖了建筑业的策划、设计、生产、施工、运维全过程的智能化升级相关内容，不仅涉及“机器换人”的智能化，而且还涉及“机器换脑”的智慧化。主要围绕项目全生命周期，分别阐述智能建造的发展背景和意义、智能建造相关概念及特征、前沿信息技术在智能建造中的融合应用，以及智能设计、智能生产、智能施工和智能运维的内容。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2025年6月

目 录



第一章 智能建造概述	1
第一节 智能建造的时代背景	2
第二节 智能建造的概念	5
第三节 智能建造的特点与形式	6
第四节 智能建造关键技术体系	8
思考与练习	12
第二章 智能建造融合现代化技术	13
第一节 数字建模与仿真技术	14
第二节 智能分析技术	28
第三节 感知与物联网技术	37
第四节 自动建造与机器人技术	52
思考与练习	64
第三章 智能设计	65
第一节 建筑工程设计	66
第二节 智能设计与应用	71
思考与练习	88
第四章 智能生产	89
第一节 智能工厂	90
第二节 智能生产的 CPS 技术	96
第三节 智能生产的 MES 技术	104
思考与练习	113



第五章 智能施工	115
第一节 智能施工的实现路径	116
第二节 施工装备的智能化	118
第三节 施工技术的智能化	131
第四节 施工工地的智能化	139
思考与练习	150
第六章 智能运维	151
第一节 智能运维概述	152
第二节 智能运维应用	156
思考与练习	168
参考文献	169



第一章 智能建造概述

—— 第一节 智能建造的时代背景

—— 第二节 智能建造的概念

—— 第三节 智能建造的特点与形式

—— 第四节 智能建造关键技术体系

第一节 智能建造的时代背景

“习近平总书记在中国科学院第十九次院士大会、中国工程院第十四次院士大会上指出：世界正在进入以信息产业为主导的经济发展时期。我们要把握数字化、网络化、智能化融合发展的契机，以信息化、智能化为杠杆培育新动能。……要推进互联网、大数据、人工智能同实体经济深度融合，做大做强数字经济。”2020年开年，党中央、国务院密集部署“新基建”，发力于科技端和战略新兴领域，打造集约高效、经济适用、智能绿色、安全可靠的新型现代化基础设施体系。新型基础设施是以新发展理念为引领，以技术创新为驱动，以信息网络为基础，面向高质量发展需要，提供数字转型、智能升级、融合创新等服务的基础设施体系。建筑业作为国民经济的支柱产业，其落后的生产方式、粗放式的管理水平已经远远不能满足其日益发展的需求。因此，建筑业信息化转型升级、节能减排、降本增效迫在眉睫。在建筑行业以往的不断探索以及最新的新基建政策形势的推动下，促进了智能建造的诞生和发展壮大。

一、发展新技术

新基建的技术是通用技术，要想应用于建筑领域，还要用得好，必须开发适用于建筑领域的相关技术。下面介绍六种新技术。

一是数字孪生技术。数字孪生技术的原理是虚实之间双向映射、动态交互和实时联系，是与物理系统对应的数字化表达。简单来说，就是在一个设备或系统的基础上，创造一个数字版的“克隆体”，其目的是形成与实物资产相对应的数字资产，从而实现资产价值的增值。

二是数字主线技术。目前的数字孪生多为逆向生成，是先有实物再将其进行数字化表达。数字孪生应该是一个动态过程，实体工程在建造之前和在建造中，就应建立动态的数字孪生模型，通过动态的数字孪生模型来优化和指导实体建筑工程建造工作，这一技术称为数字主线技术。例如，一个工程项目从设计到施工再到运输、拆解，可以利用数字主线技术，由模型驱动，实现各阶段无缝对接，让生产制造全过程产生的数据流、各环节信息实现双向同步。这是目前建筑业应该大力发展的新技术。

三是模型定义工程产品。建筑设计是一种形式逻辑的表达，与形式逻辑相对应的是数理逻辑。找到数理逻辑规律，就可以采用模型定义工程产品。例如，在北京大兴



国际机场建设项目中，机场核心区的 18 万平方米区域内采用 8 根 C 型柱支撑。这 8 根 C 型柱顶的采光结构，就是通过数字模型计算出来的。

四是智能感知技术。是指通过综合运用云计算、大数据、物联网、移动技术和智能设备等信息技术手段，聚焦施工现场管理，紧紧围绕“人、机、料、法、环”等关键要素，建立信息智能采集、管理高效协同、数据科学分析、过程准确控制的施工现场立体化信息网络，从而实现对工地的智能管理。同时，在运维中还要引入人工智能技术，实现“事前智能预警、事后快速定位、夜间无人值守、远程集中管理”等一系列智能运维目标，是亟待解决的新课题。

五是工程大数据驱动的智能决策技术。该技术是指要综合利用工程环境数据、工程过程数据、工程要素数据、工程产品数据等信息进行管理与分析，助力行业治理精准化，帮助企业精准把握市场的需求变动、提高产品设计与生产效率和供应链的敏捷性、准确性，提升施工管理水平，帮助业主提高运维能力。

六是自动化、智能化工程机械与设备协作技术。要加大建筑机器人等自动化、智能化工程机械与设备的研发投入和应用范围，有效替代人工，进行安全、高效、精确的建筑部件生产和施工作业。

二、培育新业态

在新基建背景下，建筑业应着力培育三种业态。

一是建筑工业化。新型建筑工业化的特征是信息技术与工业化深度融合、智能技术与专业化深度融合。目前，推动新型建造工业化发展，要建立完善的工业化建筑设计、施工标准化技术体系，制定关键技术标准。发展新型建筑工业化，要实现基于柔性生产线的工厂化生产、基于数字化的机械化装配施工。但目前建筑业工厂化的生产特征还不明显，没有形成多品种流水线生产规模，应当建立部品部件柔性生产线，特别是智能化柔性生产线。通过智能物流把部品部件运到施工现场，现场施工实现数字化、机械化，改善施工环境、提高建设效率。

二是建造服务化。建造服务化包括建造过程和使用过程的专业化服务，如搭建开放式的设计平台，为施工生产提供设备、技术支持，为质量安全提供保障。通过拉长产业链，提供智能节能、智能养老、智能健康住宅等使用过程中的专业化服务。

三是建造平台化。搭建平台，可以减少产品供给者与需求者之间的中间环节，交易效率更高、成本更低。平台化是今后企业发展的大趋势。新形势下，建筑企业应当做好下列战略决策：一是选择好商业模式；二是在转变建造方式中发展新业态。如今，

建筑业转型升级的主要方向是智能建造与建筑工业化协同发展的新型建筑工业化。建筑企业应当在转型中找到并提升新的核心竞争力。三是技术成熟度高的产品更容易实现价值。四是注重社会伦理。技术很重要，但社会伦理在某种程度上比技术更重要，这就要求提供服务的企业家和专业技术人员一定要有情怀。

三、贯彻新政策

近年来，我国建筑业持续快速发展，产业规模不断扩大，建造能力不断增强，建筑信息模型（building information modeling, BIM）等信息技术被迅速推广，特种施工机械和装备自主研发取得了积极进展，工程设计、施工和运行维护信息化水平不断提升。但是，长期以来，建筑业主要依赖要素投入、大规模投资而拉动发展，工业化、信息化程度较低，企业科技研发投入比重不高，建筑业与先进制造技术、信息技术、节能技术融合不够紧密，机器人和智能化施工装备能力不强，迫切需要利用 5G 通信、人工智能、物联网等新技术，升级传统建造方式。为加快推进建筑工业化、数字化、智能化升级，推动建筑业高质量发展，住房和城乡建设部等部门在广泛调研基础上，制定出台了《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》（以下简称《指导意见》）。《指导意见》提出，要大力发展装配式建筑，推动建立以标准部品为基础的专业化、规模化、信息化生产体系。推动智能建造和建筑工业化基础共性技术和关键核心技术研发、转移扩散和商业化应用，加快突破部品部件现代工艺制造、智能控制和优化等一批核心技术。推进数字化设计体系建设，统筹建筑结构、机电设备、部品部件等环节，推行一体化集成设计。探索适用于智能建造与建筑工业化协同发展的新型组织方式、流程和管理模式。实行工程建设项目全生命周期内的绿色建造，提高资源利用效率，减少建筑垃圾产生的大幅降低能耗、物耗和水耗水平。加强智能建造及建筑工业化应用场景建设，推动科技成果转化、重大产品集成创新和示范应用。推动各地加快研发适用于政府服务和决策的信息系统，探索建立大数据辅助科学决策和市场监管的机制，完善数字化成果交付、审查和存档管理体系。《指导意见》强调，各地要建立智能建造和建筑工业化协同发展的体系框架，因地制宜制定具体实施方案，明确时间表、路线图及实施路径，强化部门联动，建立协同推进机制，落实属地管理责任确保目标完成和任务落地。各地要将现有各类产业政策进一步向智能建造领域倾斜，加大对智能建造关键技术研究、基础软硬件开发、智能系统和设备研制、项目应用示范等的支持力度。各地要制定智能建造人才培养相关政策措施，明确目标任务，建立智能建造人才培养和发展的长效机制，打造多种形式的高层次人才培养平台。各

地要适时对智能建造与建筑工业化协同发展相关政策的实施情况进行评估，重点评估智能建造发展目标落实与完成情况、产业发展情况、政策出台情况、标准规范编制情况等。要充分发挥相关企事业单位、行业学会、协会的作用，开展智能建造的政策宣传贯彻、技术指导、交流合作、成果推广。

从市场角度而言，新基建智能建筑体系的搭建完善，也会迎来新一轮的产业调整，带动新一轮产业的业态模式创新，催生一系列新的建筑产品。新基建背景下，对于建筑业而言，在5G通信、人工智能、大数据汇集的技术时代，如何打造集约高效、经济适用、智能绿色、安全可靠的现代化建筑，既是新挑战，也是新契机和新机遇。

第二节 智能建造的概念

智能建造是指新一代信息通信技术与工程建造融合形成的工程建造创新模式，即利用以“三化”（数字化、网络化和智能化）和“三算”（算据、算力、算法）为特征的新一代信息技术，在实现工程建造要素资源数字化的基础上，通过规范化建模、网络化交互、可视化认知、高性能计算以及智能化决策功能的支持，实现在数字链驱动下的工程立项策划、规划设计、施（加）工生产、运维服务一体化集成与高效率协同，不断拓展工程建造价值链、改造产业结构形态，向用户交付以人为本、绿色可持续的智能化工程产品与服务。



智能建造的概念

智能建造是一种有别于传统建造的新理念，它以项目信息门户为共享平台，以建造技术、人工智能和数据技术为手段，面向项目全生命周期，构建项目建设和运营的智能化环境，通过技术集成、信息集成和管理创新，对项目建设全过程实施有效管理。智能建造是信息化与工业化深度融合的一种新型工业形态，体现了项目建设从机械化、自动化向数字化、智能化的转变趋势。

智能建造需要贯彻可持续发展的理念，保障建造工程的参与方能够有统一的平台协同合作、信息共享，运用BIM技术、云计算技术、物联网技术、大数据技术等信息技术手段，能够实现将传统建造手段与信息化技术相结合。智能建造意味着在建造过程中充分利用智能技术和相关技术，通过应用智能化系统，提高建造过程的智能化水平，减少对人的依赖，实现安全建造，并实现性能价格比更高、质量更优的建筑。

智能建造的含义主要有：

智能建造以工程信息平台为基础，集成了建筑工程项目的各种相关信息的工程数据模型，实现实时施工全流程及关键功能的智能化管理。

智能建造通过对多项先进技术的互联、集成，把解决建设工程项目各阶段的重点和难点以及满足业主方的需求作为主要目标。

智能建造是推动建筑业数字化转型的重要途径。随着经济结构和模式不断优化，依靠资源消耗、环境污染和劳动密集型的传统建造模式面临着转型升级的需求。智能建造作为一种新型现代化的建造模式，是建造行业实现跨越和发展的必经之路。

智能建造是结合全生命周期和精益建造理念，利用先进的信息技术和建造技术对建造的全过程进行技术和管理的创新，实现建设过程从数字化、自动化向集成化、智能化的变革，进而实现优质、高效、低碳、安全的工程建造模式和管理模式。但是，智能建造的概念并不是一成不变的，随着人工智能、VR、5G 通信、区块链等新兴技术的涌现并应用于工程实践，将会产生更多创新应用成果，不断丰富智能建造的内涵。



第三节 智能建造的特点与形式

一、智能建造的特点

智能建造从范围上来讲，包含了建设项目建造的全生命周期，既有勘察、规划、设计，也有施工与运营管理等；从内容上来讲，通过互联网和物联网来传递数据，这些信息与数据往往蕴含着大量的知识，借助于云平台的大数据挖掘和处理能力，建设项目参建方可以实时清晰地了解项目运行的方方面面，对项目的组织协调、计划管理将会有更好的把控作用。从技术上来讲，智能建造中“智能”的根源在于以 BIM 建模、物联网和云计算等为基础和手段的信息技术的应用，智能建造涉及的各个阶段、各个专业领域不再相互独立存在，信息技术将其串联成一个整体。

智能建造充分利用上述先进技术手段，使工程项目全生命周期的各个环节高度集成，对不同主体的个性化需求做出智能反应，为不同阶段的使用者提供便利。借助各项技术发展起来的智能建造技术作为提高建筑项目生产率的新技术，有如下特点，具体见表 1-1。

表 1-1 智能建造的特点

特征	含义
智能性	主要体现在信息和服务这两个方面，智能性以信息作为支撑，每个工程项目都包含巨量的信息，需要有获取各类信息的感知能力、储存各类信息的数据库、高速分析数据的能力、智能处理数据的能力等，当具备信息条件后，通过技术手段及时为用户提供高度匹配、高质量的智能服务
便利性	智能建造以满足用户需求为主要目标，在工程项目建设过程中，需要为各专业的参与者提供信息以及各类智能服务，为各专业的参与者提供便利、舒适的工作资源和环境，使得工程项目能够顺利完成，也为业主方提供满意的建筑功能需求
集成性	集成性主要是指将各类信息化技术手段互补的技术集成以及将建设项目各个主体功能集成这两个方面。智能建造的技术支持涵盖了各类信息技术手段，而每种信息技术手段都有独特的功能，需要将每种技术手段联合在一起，实现高度集成化
协同性	通过运用物联网技术，将原本没有联系的个体与个体之间相互关联起来，彼此交错，构建了智能平台的神经网络，从而能够为不同的参与用户提供共享信息，增进不同用户间的联系，能有效避免信息孤岛情况，达到协同工作的效果
可持续性	智能建造完全契合可持续发展理念，将可持续性融入工程项目整个生命周期的每一个环节中。采用信息技术手段，能够有效进行能耗控制、绿色生产、资源回收再利用等方面作业。可持续性不仅满足节能环保方面的要求，还包括了社会发展、城市建设等要求

二、智能建造的形式

智能建造的形式主要有以下几种。

（一）离散型智能建造

离散型智能建造的产品是由多个部件经过一系列不连续的工作过程最终装配而成。生产此类产品的企业即称为离散建造企业。其特征是在生产过程中物料的形态基本上没有发生变化，只是改变其形状和组合，即最终产品是由各种物料装配而成。此类建造形式一般将功能类似的设备按照空间布局和行政管理要求组建成一些生产组织。在每个部门，构件从一個工作中心到另一个工作中心进行不同类型的工序加工。其中，装配式建筑的建造过程是典型的离散型智能建造。

（二）流程型智能建造

流程型智能建造注重建造过程的在线优化和精细化管理，是智能建造的重点发展方向之一。流程型智能建造形式构建智能化联动系统，实现管理、生产、操作协同；建立施工环节生产管控中心，实现连续性生产智能化；搭建内外协同联动系统，实现数据连续性的精准传输；构建协同统一化的管控模式，实现各流程环节高效管理。



智能建造的形式

（三）网络协同智能建造

网络协同智能建造充分利用互联网技术为特征的网络技术、信息技术，实现业内及跨行业的产品设计、施工、管理等合作，最终通过改变业务经营模式与方式达到资源最充分利用的目的。这种建造形式以实时快速响应市场为主要目标之一，通过网络化建造提高竞争力；强调企业间的协作与社会范围内的资源共享，提高企业产品创新能力和建造能力，缩短产品开发时间。

（四）大规模个性化智能建造

大规模个性化智能建造是一种集企业、客户、员工和环境于一体，在系统思想指导下，用整体优化的观点，充分利用企业已有的各种资源，在标准化技术、现代设计方法、信息技术和先进建造技术的支持下，根据客户的个性化需求，以大批量生产的低成本、高质量和高效率提供产品和服务的建造形式。



第四节 智能建造关键技术体系

一、工业化建造技术体系

（一）预制化结构技术

装配式建筑乃至装配式基础设施是工业化建造的基本对象，也是智能建造的重要载体之一。预制化结构技术则是装配式建筑的基础，只有首先确定好合理的预制装配结构形式，才能够按照设计要求，在工厂内制作预制构件或部品部件，再到现场进行组装。预制化结构核心关键技术涉及结构主要构件的预制化和预制构件的连接技术，其对工程对象的结构性能（如承载能力、结构刚度、抗震性能等）起到决定性的作用，同时，又深远地影响着装配式工程对象的施工可行性和建造方式。

建筑结构主要由梁、板、柱、墙等构件组成，相对于大型基础设施工程，其预制构件体量较小，但种类和规格较多。在装配式建筑工程结构设计时，应尽可能以“少规格、多组合”的方式进行预制构件划分，预制构件之间应尽可能选择既能保证力学性能又便于施工的连接技术。对大型基础设施（如大跨度桥梁、地铁站等）而言，采用预制装配技术时，其预制构件往往体量较大，规格化程度较高，需要综合考虑结构性能、预制构

件运输条件、现场施工方法等多种因素，制定合理的预制构件形式和连接方法。

从知识体系的角度而言，要做好预制化结构技术，需要掌握工程力学、结构分析和设计等基本原理，还需要具备一定的结构构造知识和以工种工程为主的施工基本知识。对于大型基础设施工程，还应具有工程建造的整体综合思维和工程创新意识。

（二）工厂化生产技术

对于采用工业化建造方式的工程项目而言，相当部分的构件或部品部件需要在工厂阶段加工而成，这是建筑工业化的重要组成部分，也是区别于传统工程建造模式的显著特征。预制构件工厂化生产是通过工业化生产方式，在预制工厂的车间内通过一系列自动化机械设备生产各种预制构件。建筑或基础设施工程的整体质量首先取决于预制构件本身的质量，不同构件的形状、尺寸、组成、生产方式都不尽相同，为实现构件的设计，保证构件质量，需要完备的预制构件生产线和配套的工艺流程。要做好工厂化生产技术，需要掌握工程材料和工程构件制造工艺等基本知识，还需要了解生产节拍等生产管理及生产设备等相关知识。

基于现代工业制造生产线的理念和工程结构、建筑产品的特点，我国已经形成了工程结构的预制构件加工产业，建立了众多预制构件制造企业。根据装配式工程结构的类型，主要有大量的预制混凝土构件的生产企业、钢结构生产企业和少量的木结构生产企业。预制混凝土构件工厂化生产按照混凝土制品制造流程，主要形成了移动模台生产线和固定模台生产线，钢结构工厂化加工主要涉及钢板切割、钢材焊接等工艺。随着智能建造的发展，预制构件的工厂化生产技术也在向着信息化、自动化乃至智能化的方向发展。

（三）装配化施工技术

装配化施工是工业化建造流程的核心环节，其安装效率与质量将直接决定工程工期、成本及质量。装配化施工可运用各类型工程机械，减少人工投入和现场的工作量，减少现场的污染和材料浪费，充分体现工业化建造的特征。要做好装配化施工技术，需要掌握土木工程的基础知识和现场管理、工程装备等相关知识。

装配化施工技术主要涉及预制构件进场验收、预制构件吊装、预制构件连接以及质量验收和检验等技术。预制构件在工厂预先生产，现场进行组装，安装时要求较高的精度，且预制构件具有唯一性，一旦某个构件有缺陷，势必对整个安装工程质量、进度、成本造成直接影响。因此，进场验收是重要的环节。预制构件应经验收合格后进入现场堆放，并尽量减少现场堆放量，能直接进入吊装程序的构件，尽量避免在现

场存放。预制构件的吊装与连接是装配化施工的关键，涉及工程装备的选择、升级改造乃至设备与技术研发，也是智能建造需要重点关注的环节。由于许多预制构件连接技术具有特殊性，先进的检测监测技术对于保证预制构件的连接质量乃至整体工程的质量具有重要作用。

二、工程建造智能化技术体系



工程建造
智能化技术体系

（一）数字建模与仿真技术

基于信息物理系统（cyber physical system, CPS）理念的工程建造是智能建造的核心理念之一，构建虚实结合的工程建造数字孪生系统，通过数字化手段进行建造设计、生产、施工、运维等全生命周期的 BIM 建模、模拟、优化与控制，并创造新的建造模式与建造产品。因此，数字建模与仿真技术是智能建造的基础性技术。就目前发展阶段而言，数字建模与仿真技术主要包括建筑信息模型（BIM）技术、城市信息模型（CIM）技术、扩展现实技术（XR）等。

BIM 技术为全生命周期、全参与方、全要素的工程项目提供了一个工程信息在各阶段的流通、转换、交换和共享的平台，为建筑工程提供了精细化、科学化的技术手段，是建筑工程项目数字化的基石。基于 BIM 技术，CIM 技术在城市尺度上提供了虚拟仿真的平台。扩展现实技术给智能建造从业者提供了工程建造与虚拟仿真之间的桥梁。

（二）智能分析技术

随着人工智能的发展，智能化的技术和产品已经逐渐走入人们的工作和生活中，其理论基础是人工智能算法得到了极大的发展。人工智能算法及相关支撑技术与工程建造的结合，是智能建造得以发展的重要因素。智能分析技术是智能建造的“智能”来源，当前阶段，智能建造涉及较多的基础性智能分析技术主要有人工智能、大数据、云计算、区块链技术等。

智能建造中的人工智能多涉及算法层面，其为工程设计参数、施工信息、运维数据的处理和分析提供了智能化的算法工具。大数据技术为工程建造全生命周期过程中大量、多源的数据信息提供了处理手段；云计算则为人工智能算法、大数据分析提供了算力上的保障；区块链技术以其去中心化、分布式存储的特性，为工程大数据提供了安全保障的可能性。

（三）感知与物联网技术

感知与物联网技术为工程建造过程的信息和数据提供了收集和传输的手段，是智能建造发展的必备要素。当前阶段，智能建造涉及的感知与物联网技术主要包括传感器、工程测量、三维激光扫描、计算机视觉、物联网等。

传感器种类繁多，涉及温湿度、噪声、风力、力、应变等众多类型的信息感知，是工程建造的重要信息来源。利用常规工程测量仪器，收集工程建造的关键信息，仍是当前阶段智能建造工程测量的基本手段之一；三维激光扫描是近年来快速发展的测量技术，为工程结构全景测量提供了手段。计算机视觉以人工智能算法为基础，为工程信息采集提供了新手段。物联网技术则为智能建造提供了信息流通与传输媒介，工程物联网也成为智能建造的热点之一。

（四）自动建造与机器人技术

智能建造的重要发展方向和目标在于实现工程对象的自动化建造，从而实现少人化乃至无人化建造，以应对建筑业安全风险高、劳动力逐渐匮乏的挑战。自动建造与机器人技术的重点在于工程建造装备，主要包括智能化工程机械、建筑机器人和3D打印技术等。

作为现代工程施工最重要的元素之一，工程机械水平将直接关系到工程施工的效率和质量。在智能化时代，工程机械正在向自动化、智能化方向快速升级。建筑机器人是当前智能建造的热点方向之一，通过专用或通用机器人实现工程建造特定环节或整体流程上的人机协同作业及机器人独立作业。3D打印技术是一种新型建造技术，采用特殊的工程材料来“打印”出工程对象，其目标是实现无人化建造，是一种自动建造技术。



小贴士

在江苏省南京市六合区雄州街道社区卫生服务中心，有一座3D打印而成的二层小楼，其外貌类似“蓝精灵”，外表遍布麻绳样的纹路。大部分情况下，建筑材料由3D打印机制作出来后，由工人运送至施工现场再进行拼装，例如南京市江北新区市民中心广场前的接待中心。而雄州街道社区卫生服务中心内的小楼是将打印机运送至现场直接打印的，小楼高6 m，使用面积近60 m²，打



印这样一栋体量的建筑，只需花费 50 小时，而小楼在结构、类型、面积和强度等方面均符合居住类房屋的条件。

思考与练习

1. 什么是智能建造？
2. 简述智能建造的时代背景。
3. 简述智能建造的特点。
4. 智能建造的形式包括哪些类型？
5. 请概括智能建造关键技术体系并具体说明其内容。



第二章

智能建造融合现代化技术

第一节 数字建模与仿真技术

第二节 智能分析技术

第三节 感知与物联网技术

第四节 自动建造与机器人技术



第一节 数字建模与仿真技术

一、建筑信息模型

(一) BIM 技术的定义

建筑信息模型（BIM）是以三维数字技术为基础的工程数据模型，BIM 集成了建筑工程项目各种相关信息，数字化表达了工程项目的的相关信息。



小贴士

BIM 技术最早是在 1975 年由“BIM 之父”——佐治亚理工学院的 Chunk Eastman 教授提出的。21 世纪初，BIM 概念进入中国，并在国家游泳中心（水立方）和上海世博会中国馆上得到应用。2011 年，住房和城乡建设部发布《2011—2015 年建筑业信息化发展纲要》，要求在“十二五”期间，基本实现建筑企业信息系统的普及应用，加快建筑信息模型（BIM）的应用；2016 年发布的《2016—2020 年建筑业信息化发展纲要》，要求在“十三五”时期，全面提高建筑业信息化水平，着力增强 BIM、大数据等信息技术集成应用能力。2020 年 8 月 28 日，住房和城乡建设部、教育部、科技部、工业和信息化部等部门联合印发《关于加快新型建筑工业化发展的若干意见》，提出要大力推广建筑信息模型（BIM）技术；加快推进 BIM 技术在新型建筑工业化全寿命期的一体化集成应用；充分利用社会资源，共同建立、维护基于 BIM 技术的标准化部品部件库，实现设计、采购、生产、建造、交付、运行维护等阶段的信息互联互通和交互共享。2024 年 11 月，中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于推进新型城市基础设施建设打造韧性城市的意见》，指出深化应用建筑信息模型（BIM）技术，提升建筑设计、施工、运营维护协同水平。2025 年 4 月，中央网信办、国家发展改革委等十部门印发《2025 年数字化绿色化协同转型发展工作要点》，指出加强 BIM 全过程应用顶层架构设计，开展相关制度研究，打通软件间数据壁垒，构建国产 BIM 软件应用生态。时至今日，全国各地推进 BIM 全过程应用的相关政策依旧不断地推陈出新，助力我国建筑业数字化转型升级。

（二）BIM 技术的特点

1. 可视化

BIM 可以实现构件之间具有互动性和反馈性的可视化，BIM 模型能够在三维上展示效果，并生成相关报表，使项目设计、建造、运营过程中的沟通、讨论、决策都在可视化的状态下进行，利用倾斜摄影进行城市 BIM 建模如图 2-1 所示。



图 2-1 利用倾斜摄影进行城市 BIM 建模

2. 协调性

（1）数据实时协调

在 BIM 中，同一数字化模型的所有图纸、图表均相互关联，避免了用 2D 绘图软件画图时出现的不一致现象。在任何视图（平面图、立面图、剖视图）上对模型的任何修改均视为对数据库的修改，经过修改的部分会立即在其他视图或图表上关联的地方体现出来，且关联变化是实时的。数据实时协调保持了 BIM 模型的完整性，在实际工作中大幅提高了项目的工作效率，消除了不同视图之间的不一致现象，保证了项目的工程质量。

（2）构件实体智能协调

BIM 中构件实体之间的智能协调可以实现关联显示、智能互动。例如，模型中的屋顶是和墙相连的，如果要把屋顶升高，墙的高度就会随即变高。又如，门窗一般是开在墙上的，如果把模型中的墙进行平移，墙上的门窗也会同时平移；如果把模型中

的墙进行删除，墙上的门窗立即会被删除，而不会出现墙体被删除后，窗还悬在半空的不协调现象。这种关联显示、智能互动表明了 BIM 技术能够支持对模型信息的计算和分析，并生成相应的图形及文档。

（3）碰撞协调

施工人员会对项目的整体结构、水电供暖、排水消防等方面进行分析，在空间布置上避免这些因素发生碰撞。例如，暖通中的管道在进行布置时，有梁等构件阻碍管线的布置，使用 2D 图纸进行分析的效果不佳，而使用 BIM 技术构建 3D 模型，施工人员可直接在软件内进行碰撞试验，并生成碰撞报告，防止各个因素在空间中起冲突，保证工程项目质量。

（4）信息沟通协调

BIM 技术与信息技术息息相关。BIM 模型信息存储在数据库中，工作人员可以运用动态系统进行信息查询、交流，加快信息传递速度，杜绝“信息孤岛”现象的发生。

3. 模拟性

在设计阶段，BIM 可以对许多建筑、结构等方面的内容进行模拟分析，例如节能模拟、紧急疏散模拟、日照模拟、热能传导模拟等，如利用 Revit 软件和 Ecotec 软件可以模拟建筑的采光效果；在招投标和施工阶段可以进行 4D 模拟（3D+Time），即根据施工的组织设计模拟实际施工，从而确定合理的施工方案来指导施工。同时还可以进行 5D 模拟（4D+造价控制），从而实现成本控制；后期运营阶段可以模拟日常紧急情况的处理方式，例如，利用 Revit 和 Pyrosim 软件进行火灾人员逃生模拟及消防人员疏散模拟。

4. 优化性

工程项目的整个设计、施工、运营过程就是一个不断优化的过程。BIM 模型提供了建筑物实际存在的信息，包括几何信息、物理信息、规则信息，还提供了建筑物变化以后的实际存在信息。复杂程度较高时，参与人员本身的能力无法掌握所有信息，必须借助一定的科学技术和设备。现代建筑物的复杂程度大多超过参与人员本身的能力极限，BIM 及与其配套的各种优化工具提供了对复杂项目进行优化的可能。

5. 可出图性

利用 BIM 模型不仅能绘制常规的建筑设计图纸及构件加工的图纸，而且还能通过对建筑物进行可视化展示、协调、模拟、优化，并能够出具各专业图纸及深化图纸，包括建筑施工图、结构施工图和设备施工图，使工程表达更加详细。另外，通过将建

筑、结构、电气、给水排水、暖通等专业的 BIM 模型整合后，进行管线碰撞检测，可以输出综合管线图、碰撞检查报告和建议修改方案。

（三）BIM 技术的应用

1. BIM 在建筑全生命周期中的应用



（1）方案策划阶段

在方案策划阶段，利用 BIM 技术可以为管理者提供概要的现状模型，以方便建设项目方案的分析、模拟，从而为整个项目的建设降低成本、缩短工期、提高质量，而且通过 BIM 建立的模型能够更好地对项目作出总体规划，并得出大量的直观数据作为方案决策的支撑。基于 BIM 技术建立起来的三维模型还可以全面地加入工程建设的所有信息，根据模型能够自动生成符合国家工程量清单计价规范的工程量清单及报表，快速统计和查询各专业的工程量，对材料计划使用做出精细化控制，避免材料浪费。

（2）招投标阶段

BIM 技术的应用和推广，很大程度上提高了招投标管理的精细化程度和管理水平。在招投标过程中，招标方可以根据 BIM 模型编制准确的工程量清单，达到清单完整、快速算量、精确算量，能够有效避免漏项和错算等情况，最大限度地减少施工阶段因工程量问题所引起的纠纷。投标方根据 BIM 模型快速获取正确的工程量信息，与招标文件的工程量清单比较，可以制订更好的投标策略。

（3）设计阶段

BIM 模型的碰撞检测是设计阶段应用的重要体现。通过 BIM 软件提供的空间冲突检查功能查找两个专业构件之间的空间冲突可疑点，软件可以在发现可疑点时向操作者报警，经人工确认该冲突可疑点。在解决碰撞冲突可疑点后，需要输出工程图纸。基于唯一的 BIM 模型数据源，任何对工程设计的实质性修改都将反映到 BIM 模型中，软件可以依据 3D 模型的修改信息自动更新所有与该修改相关的 2D 图纸。

（4）施工阶段

在施工阶段，结合施工方案、施工模拟和现场视频监控进行基于 BIM 模型技术的虚拟施工，可以根据可视化效果看到并了解施工的过程和结果，较大程度地降低返工成本和管理成本，同时，也可以降低风险，增强管理者对施工过程的控制能力。通过将 BIM 模型与施工进度计划相连接，将空间信息与时间信息整合在一个可视的 4D（3D+Time）模型中，能够实时追踪当前的进度状态。对于施工安全，基于 BIM 模型

的安全管理也可以实现危险区域划分、危害因素识别、施工空间冲突管理、安全评价与监控、安全措施制定、数字化安全培训等。

(5) 运维阶段

传统的运营管理阶段存在的问题主要包括：一是信息的凌乱造成运营管理的难度提高；二是设备管理维护没有科学的计划性；三是资产运营缺少合理的工具支撑，没有对资产进行统筹管理统计，造成很多资产的闲置浪费。BIM 模型技术可以保证建筑产品的信息创建便捷、信息存储高效、信息错误率低、信息传递过程高精度等，整合设计阶段和施工阶段的关联基础数据，形成完整的信息数据库，能够方便运维信息的管理、修改、查询和调用，同时结合可视化技术，项目的运维管理更具有操作性和可控性。

2. BIM 与其他技术结合的应用

(1) BIM 与 GIS 结合应用

与实际情况一致的建筑工程基础数据由 BIM 为工程项目提供，而 GIS（地理信息模型）能提供宏观的地理空间定位信息，包含了建筑工程的地理位置、周边环境、地上和地下管线系统、周围道路等宏观空间信息。BIM+GIS 的融合在城市和景观规划、智慧城市建设、灾害管理等领域发挥巨大的作用，如图 2-2 所示。

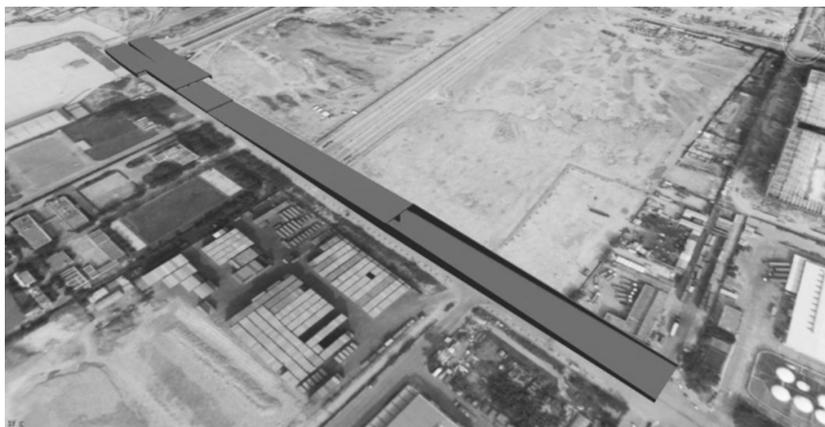


图 2-2 GIS 中导入 BIM 模型

(2) BIM 与 VR 结合应用

基于 BIM 模型技术和 VR（虚拟现实技术）对真实建筑及环境进行模拟，同时可生成高度仿真的效果图。设计者可以按照业主要求去构建装饰“虚拟”的房间，并可以任意变换房间的位置并观察设计结构，直到业主满意为止。

二、城市信息模型

（一）CIM 技术定义

城市信息模型是以 BIM 模型、地理信息系统（GIS）、物联网等技术为基础，整合城市地上地下、建筑室内室外、历史现状未来等多维多尺度信息数据和感知数据的城市综合模型系统。

2021 年 6 月，住房和城乡建设部发布了《城市信息模型（CIM）基础平台技术导则》（修订版），按照数据源的精细程度将 CIM 划分为 1~7 级（表 2-1），CIM1~7 级精细度逐级提高。CIM 面向各级精细度的实体对象本身，可按需确定 CIM 模型的精细度描述等级。

表 2-1 CIM 精细度层级划分

级别	名称	主要内容	主要应用场景
CIM1	地表模型	地形、行政区、水系、主要道路等	区域和城市群的规划、建设等场景
CIM2	框架模型	地形、建筑、交通、水系、植被等	城市全域规模的规划和建设
CIM3	标准模型	地形、建筑、交通、水系、植被、场地、管线、地质、城市部件等	城区的建设、规划和管理
CIM4	精细模型	地形、建筑、交通、水系、植被、场地、管线管廊、地质、城市部件等	重点区域、建筑的规划、建设、管理、运行
CIM5	功能模型	建筑内外、交通、场地、地下空间、管线管廊等要素及主要功能分区	建筑内部功能区管理
CIM6	构件模型	建筑内外、交通、场地、地下空间、管线管廊等要素、功能分区及主要构件	建筑构件、设施管理
CIM7	零件模型	主要设备零部件	精细零件管理

（二）GIS 技术

1. GIS 技术定义

地理信息系统（GIS）是一种空间信息系统，GIS 技术是以地理空间为基础，采用地理模型分析方法，实时提供多种空间和动态的地理信息，是一种为地理研究和地理决策服务的计算机技术。

2. GIS 技术特点

(1) 公共的地理定位基础

任何地理要素必须按照经纬度或特定的坐标系统进行精准的空间定位，才能使空间要素（平面位置、标高等）在特定的参考系下具有实际意义。GIS 具备公共、统一的空间定位系统，将目标涉及的空间和时间上的连续分布的信息进行整合，支持空间问题的处理与决策。

(2) 地理信息标准化和数据化

GIS 将建造对象的空间数据和统计数据进行分级、分类、规格化和标准化处理，使其适应计算机输入和输出的要求，便于进行工程施工现场实际情况和自然资源、环境要素之间的对比和相关分析。

(3) 丰富的地理信息

GIS 数据库中包含丰富的人文、地理信息，如人口分布、环境污染、区域经济情况、交通情况等，可以辅助建筑项目顺利进行。

3. GIS 技术应用

(1) 资源清查、管理与分析

资源的清查、管理与分析是 GIS 技术最基本的功能。以土地利用类型为例，可输出不同土地利用类型的分布和面积、以及按照不同高程带和不同坡度区划分的土地利用类型，为资源的合理利用、开发和科学管理提供依据。

(2) 区域规划

区域规划具有高度的综合性，GIS 技术能为规划人员提供功能强大的工具，将众多要素进行筛选并转换为可用形式。

(3) 灾害监测

借助遥感监测数据和 GIS 技术可以有效地进行森林火灾的预测预报、洪水灾情监测和洪水淹没损失的估算、抗震救灾等工作，为抢险救灾和决策提供及时准确的信息。

(4) 土地调查和地籍管理

土地调查是地籍管理的基础工作，借助 GIS 技术可以进行地籍数据的管理、更新，开展土地质量评价和经济评价，输出地籍图，同时还可以为有关用户提供所需要的信息。

(5) 城市管理

城市管理过程中需要处理各种统计数据与信息，查阅并分析许多与空间位置相关

的信息，这些工作都需要专门处理空间数据和进行空间分析的 GIS 技术作为手段。

（三）CIM 技术特点

1. 具备全城市尺度的描述能力

CIM 模型可覆盖城市的多空间维度，一个具体的 CIM 模型实例可包括空间维度或层级中的一个或多个空间单元。实体空间包括地表、地下或室外、室内；各层级行政管理单元包括市、区、街道、社区；自然形态单元包括街区、院落、建筑组群、楼宇等。

CIM 模型可以覆盖城市的多个时间维度，一个具体的 CIM 模型实例可以覆盖时间维度的一个或多个时间段。城市信息的不同时态包括过去、一般现在、实时、将来；城市生命周期包括城市的规划、设计、建设、运行、管理。

CIM 模型可以对构成城市的实体化物理和人文要素进行描述。自然或人造的物理要素包括建筑、设施、植被、水体、地貌、部件、设备等；人文要素包括自然人、法人等。

2. 支持静态、动态数据的结合

智能空间的表达需要建筑实体对象的静态数据和动态数据，CIM 模型作为实现智能空间的重要技术能够支持两者结合。BIM 数据和 GIS 数据作为静态数据的主要来源和描述基础，包含地理地形和构件模型的空间、属性、关系等静态基础数据；物联网传感器的实时数据是以时间为序列的动态数据的主要来源，包含温度、湿度及压力状态等与时间有对应关系的动态数据。静态、动态数据的结合使 CIM 平台完成对智能空间的数字化描述和表达。

3. 支持全城市层面高仿真可视化

CIM 平台的城市时空数据来源于卫星影像、航空影像、倾斜影像、高光谱影像、热红外影像和激光点云等。城市时空数据具有全面、实时和可靠的特点。CIM 根据实时的城市时空数据快速建设各类建筑、街道、基础设施等三维实体模型，覆盖城市天空、地上、地下全域范围，实现对整个城市层面所有实体对象的高仿真三维可视化表达，并基于此支持对所表达对象的定量统计与分析。

4. 支持全城市范围内动态协同管理和实时预测预警

基于多方协同建立维护的 CIM 模型可支撑各业务部门对城市运行的协同管理，可在城市范围内构建全灾种统筹管控的智能应急综合管理平台，支持各个业务领域的实



时预测预警应用，提升抢险救援的快速响应效率（图 2-3）。

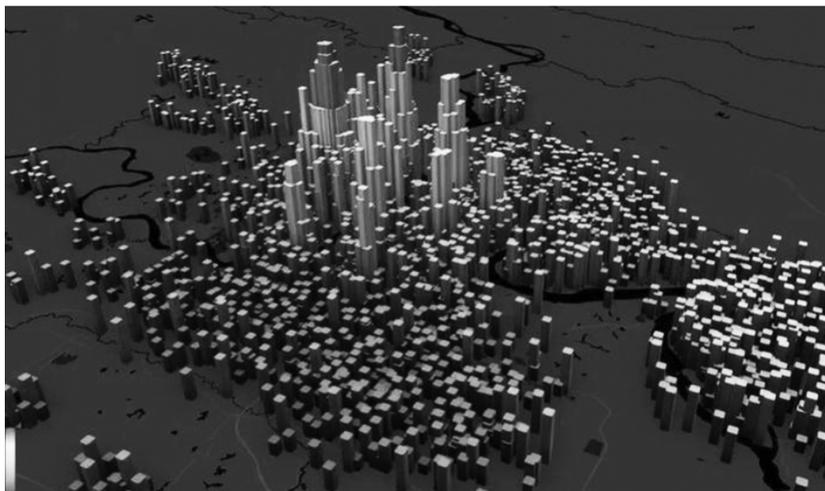


图 2-3 借助 CIM 技术的有效监管疫情传播

（四）CIM 技术应用

1. 城市智能规划

CIM 技术以 GIS 技术提供的三维地理场景数据为基础，以“人—地—房”空间关联大数据为核心，计算教育资源压力、医疗资源压力、交通压力等数据，分析公共配套设施需求，开展地块筛选和合规性审查，模拟公共服务建设成效，实现智能化规划选址（图 2-4）。



图 2-4 CIM 技术智能规划

2. 城市智能建造

CIM 技术融合城市地上建筑景观模型、地下地质构造模型、管线模型等构建“透明城市”，实现展示城市建筑设施、资源、地质环境等，辅助建设工程从规划建设用地选址、工程勘察评估、建设工程监管到建成后的建筑资产管理、楼宇运行监测等全生命周期的精细化、智能化监管决策。

3. 城市智能运营

CIM 技术提供三维实景、室内外、地上地下一体化的地图场景，实时接入汇聚各部门业务数据、实时感知数据，动态监测城市运行指标，实时感知城市运行状态，实现城市运行一张图态势感知、一张网监测预警、一键式应急联动、一盘棋管理决策，有效提升城市综合治理水平。

4. 城市智能安全

依靠 CIM 平台接入多渠道安全感知数据，全面掌握城市安全相关信息，实现公共安全事件的可视化指挥调度与应急处置。同时，结合人脸识别、大数据比对分析、AR 实景指挥等多种手段提升公共安全管控智能化水平。

三、扩展现实技术

（一）扩展现实技术的定义

扩展现实（extended reality, XR），是指通过计算机将真实与虚拟相结合，进而打造一个可人机交互的虚拟环境，XR 是 VR（虚拟现实）、AR（增强现实）、MR（混合现实）等人机交互技术的统称。

1. 虚拟现实技术

虚拟现实技术（virtual reality, VR），又称虚拟实境或灵境技术，VR 以计算机技术为主，利用并综合三维图形技术、多媒体技术、仿真技术、显示技术等多种高科技的最新发展成果，借助计算机等设备制造一个逼真的三维空间，并能通过视觉、触觉、嗅觉等多种感官来体验的虚拟世界。

2. 增强现实技术

增强现实（augmented reality, AR）技术广泛运用了多媒体、三维建模、实时跟踪及注册、智能交互、传感等多种技术手段，将计算机生成的文字、图像、三维模型、

音频、视频等虚拟信息模拟仿真后，应用到真实世界中。

3. 混合现实技术

混合现实技术（MR）是虚拟现实技术的进一步发展，该技术通过在虚拟环境中引入现实场景信息，在虚拟世界、现实世界和使用者之间建立起交互反馈的信息闭环，以增强环境的真实感。

（二）扩展现实技术的特点

1. 虚拟现实技术

（1）沉浸性

沉浸性是 VR 最主要的特征，让使用者成为并感受到自己是计算机系统所创造环境中的一部分。虚拟现实技术的沉浸性取决于使用者的感知系统，当使用者感知到虚拟世界的刺激时，便会产生思维共鸣，造成心理沉浸，感觉如同进入了真实世界。

（2）交互性

交互性是指使用者对模拟环境中物体的可操作程度和从环境得到反馈的自然程度。使用者进入虚拟空间，相应的技术让使用者跟环境产生相互作用。当使用者进行某种操作时，周围的环境也会做出某种反应。

（3）多感知性

多感知性表示计算机技术拥有很多感知方式，如听觉、触觉、嗅觉等。理想的 VR 应具有一切人类所具有的感知功能。由于相关技术特别是传感器技术的限制，目前大多数 VR 所具有的感知功能仅限于视觉、听觉、触觉、运动等几种。

2. 增强现实技术

（1）虚实结合

AR 可以将屏幕扩展到真实环境，使窗口与图标叠映于现实对象，由眼睛凝视或手势指点进行操作，让三维物体在使用者的全景视野中根据当前任务或需要交互地改变其形状和外观，对于现实目标通过叠加虚拟景象产生类似于 X 光透视的增强效果。

（2）实时交互

AR 使交互从精确的位置扩展到环境，从简单的面对屏幕交流发展到将自身融入周围的空间与对象中，进而实现实时交互。

（3）在三维空间中增添定位虚拟物体

AR 能够通过实时跟踪摄像机姿态，实时计算出摄像机的摄像位置及角度，定位

出虚拟图像与真实场景中的位置，以实现虚拟世界与现实世界的融合。

3. 混合现实技术

(1) 实时运行

MR 的实现需要在一个能与现实世界各事物交互的环境中。在 VR 领域中，一切事物都是虚拟的；在 AR 领域中，展现出来的虚拟信息只能简单地叠加在现实事物上。MR 的关键点就是与现实世界进行交互和实时获取信息。

(2) MR 的开发方法

MR 区别于大众应用的软件，MR 技术需要软硬件相结合，如何协同软硬件是 MR 技术开发中亟待解决的问题。

(3) 情景感知能力

MR 之所以能够模糊虚拟、现实世界的边界，主要是通过创立虚拟情景。情景感知能力能够真实地反映出情景，提升体验者的情感敏感性。

(三) 扩展现实技术的应用

1. 虚拟现实技术

(1) 工程设计

土木工程建筑结构复杂、施工环境多变，引入 VR 后，设计人员可以简化力学性能模型的试验工作，排除传统力学试验中可能会受到的气流、摩擦力等因素的影响，保证力学试验的准确性。对于试验数据，计算机技术能够快速且精准地进行分析，帮助设计人员决策出最合适的设计方案。

(2) 施工过程模拟

施工过程受人为因素、天气的影响会存在动态变化。在施工开展之前，将工程数据输入计算机系统，借助 VR 技术进行施工模拟，智能化评估数据，以制订出最优的施工方案（图 2-5）。

(3) 工程测量

在土木建筑工程的施工过程中，通常会涉及角度测量、距离测量、高程测量三个类型的测量工作，不仅较为烦琐，而且测量质量易受到多方面因素的影响而出现测量误差。将 VR 技术应用于工程测量工作中，构建虚拟模型，并利用计算机技术对模型进行自动化测量，精确分析测量数据，出具测量报告。

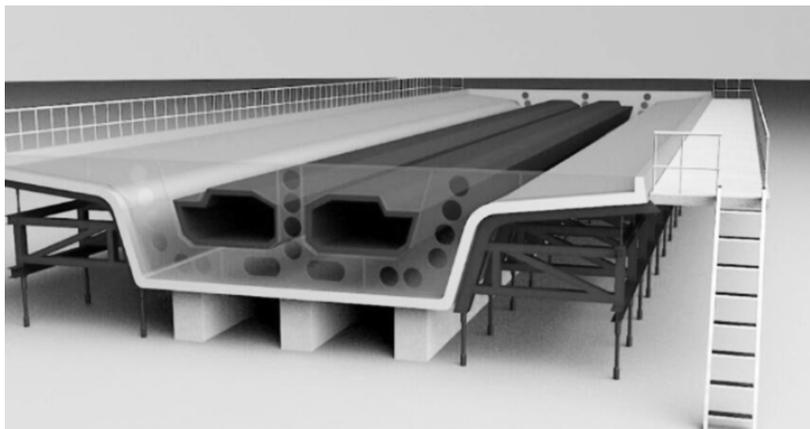


图 2-5 施工过程模拟

(4) 安全管理

对于建筑工程安全管理，在提高工人的安全意识和危险源辨别能力等方面需要予以重视。传统的工人入场教育无法让工人体会到事故发生时的感受，对提高工人的安全意识作用有限。利用 VR 技术可以创建工程的 VR 场景，通过 PC 端或手机端连接 VR 眼镜，能够让每个新入场的工人看到危险因素，提高工人的安全意识和辨别危险来源的能力。

2. 增强现实技术

(1) 现场施工管理

AR 可在施工现场加载虚拟的施工内容，使现场人员不再从平面化资料中提取数据。AR 可以在现场施工管理中减少由于施工组织和图纸的误解以及信息传递的失真所造成的巨大损失，减少施工人员反复读图识图的时间，辅助施工人员的管理，加强现场施工人员的培训，甚至通过加载明显的标记信息强调重要时间节点的施工，从而有利于现场管理。

(2) 与建筑领域其他新技术结合

将 BIM 与 AR 相结合，使 BIM 中所包含的大量静态的已定义好的 3D 信息可以应用到增强现实技术中，为项目管理提供依据。AR 结合 SNS（社交网络服务）、云计算等可实现多方合作，并且采用 WEB3D 可实现移动 AR 的，3D 信息在线传输，还可以使用桌面 AR 打造工程施工可视化平台加强合作交流。由 AR 构建的可视化平台将会促使施工各方之间的合作，从人机交互到人人交互的转变，这将大幅减少沟通成本，增加沟通的准确性。

3. 混合现实技术

(1) 可视化交底

BIM+MR 技术能实现可视化交底，在建筑工程施工中采用三维动画立体全景方式，分解各个构件，通过动画手段集中展示构件细节，施工技术与工艺能以更加高效、立体的方式呈现在施工人员眼前，强化施工人员对施工工艺的熟练度。

(2) 预制构件加工

BIM+MR 技术在装配式建筑构件预制加工中的应用，能有效提升预制加工质量与制造效率，确保构件的精准化，提升建筑功能的安装加工质量。钢结构工厂化预制加工过程中，构件预制加工利用数字化技术，能自动完成建筑构件或安装管线、设备的预制，全面提升建筑工程施工质量，有效控制施工工期，也能减少工程材料的浪费与消耗。在三维模型中，能对预制构件工厂的加工全过程进行演示，保证预制构件加工的质量与效率。

(3) 全过程信息反馈

在建筑工程施工全过程中，通过 MR 技术的应用，能及时发现潜在风险隐患，并有效排除风险。在施工过程中不同阶段出现的问题都能及时反馈，并在平台上呈现出来，后续阶段出现的问题可以反馈到前面的各个环节，在问题及思考前置下能对质量与成本进行综合考虑。

(4) 运营维护

在建筑工程项目的维护过程中，BIM 技术的应用能让管理人员脱离繁冗的数据手册，可以通过模型直观展现数据信息，确保运营维护效率。为实现 BIM 模型中的虚拟数据与现实数据进行交互，直观明确地展现数据，要充分发挥 MR 设备的作用。



小贴士

2022 年，中华全国新闻工作者协会与湖南省委宣传部首次在中国新媒体大会期间举办中国新媒体技术展，搭建新技术、新应用展示交流合作平台，受到广泛欢迎。在展会上，各种“黑科技”技术引人瞩目，湖南广播电视台展示的 XR 系统便是其中之一。据了解，XR 系统是基于 Unreal 引擎的 4K+HDR 拍摄系统。借助 LED 屏幕，以及 LED 屏幕外扩展，可获得电影级别的实时拍摄

效果。在 XR 拍摄环境下，可以提供最真实的光影交互。与一般绿幕拍摄技术不同的是，XR 系统拍摄可以有更好的沉浸式体验，还能够实现所见即所得的视觉特效。



第二节 智能分析技术

一、人工智能

（一）人工智能的定义

人工智能（artificial intelligence, AI）是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学。基础的 AI 算法主要有决策树算法、朴素贝叶斯算法、随机森林算法、人工神经网络算法、关联规则算法、期望最大化算法、深度学习算法等。

AI 是计算机科学的一个分支，它可以实现对人的意识、思维的信息过程进行模拟，并生产出一种新的能与人的意识和思维相似的方式做出反应的智能机器。自 AI 诞生以来，AI 理论和技术日益成熟，应用领域也在不断扩大，可以设想，未来的 AI 科技产品将会是人类智能的载体。

（二）人工智能的特点

1. 大数据驱动的知识学习

知识学习本质上是一种学习算法，机器通过学习算法可以学习大数据的内在规律和表达层次。在理想的情况下，AI 系统具有一定的自适应性和模仿学习能力，即能够随着环境变化、数据变化或任务变化而自适应地调节参数或更新优化模型的能力。

2. 跨媒体认知、学习及推理

传统的媒体信息处理模型只能推理分析某种单一形式的媒体数据，如语音识别、文本识别等，而 AI 的跨媒体认知、学习及推理则能够像人类一样协同综合处理多种形式的信息（文本、音频、视频、图像等），高效完成特定任务。

3. 高水平的人机、脑机相互协同和融合

智能机器可看作人机交互的一种表现，随着人机交互形态的衍生与发展，新的人机交互形态——脑机交互诞生，成为未来 AI 发展的一大趋势。传统人机交互是大脑通过神经控制身体的肌肉运动，而脑机交互则是通过检测大脑中各类信号的变化，获得大脑的思维信息。

4. 基于互联网和大数据的群体智能

人类在进化的过程中学会了合作，在 AI 的发展中，群体智能也有类似的内涵。个体智能存在局限性，而群体智能则可以依靠互联网和大数据，通过复杂的算法来实现不同个体之间的合作，从而得到最优方法。

5. 智能自主系统的广阔潜能

智能自主系统是能够通过先进的技术和智能的 AI 算法进行操作或管理，而不需要人工干预的系统，如智能工厂系统、智能无人机系统等。智能自主系统最重要的特征是自主性和智能性。AI 的各种技术可以实现并不断提高这两个特征。

（三）人工智能的应用

1. 人工智能的常规应用

（1）数据挖掘

数据挖掘是指从数据库中的大量数据中揭示出隐含的、未知的、有潜在价值的信息的过程。数据挖掘是一种决策支持过程，它主要基于人工智能、模式识别、机器学习、数据库、可视化技术等高度自动化地分析大数据，做出归纳性的推理，从中挖掘出潜在的模型。

（2）自然语言处理

①机器翻译。机器翻译系统是能够将一种自然语言自动生成另一种自然语言又无须人类帮助的计算机系统。目前，一些人工智能企业巨头已经推出了一些翻译平台，其具有翻译过程的高效性和翻译结果的准确性等优势。

②打击垃圾邮件。邮件中的文本内容经过自然语言处理分析后，能够相对准确地判断邮件是否为垃圾邮件。目前，朴素贝叶斯垃圾邮件过滤技术可以通过学习、识别大量的垃圾邮件和非垃圾邮件的特征，计算出邮件是否属于垃圾邮件的概率，从而提高识别垃圾邮件的准确性。

③信息提取。自然语言处理的主要任务之一是获取明文公告，并以一种可被纳入算法交易决策的格式提取相关信息。例如，公司之间合并的消息可能会对交易决策产

生重大影响，将合并细节纳入交易算法中，这或将对利润产生影响。

④文本情感分析。文本情感分析作为一种常见的自然语言处理方法，可以从大量数据中识别和提取相关信息，而且还可以理解更深层次的含义。例如，企业分析消费者对产品的反馈信息，或检测在线评论中的差评信息等。

⑤自动问答。自动问答是指利用计算机自动回答用户所提出的问题。在这个过程中，首先要正确理解用户所提出的问题，抽取其中的关键信息，然后在已有的语料库或知识库中进行检索、匹配，最后将获取的答案反馈给用户。

⑥个性化推荐。自然语言处理可以依据包含历史行为记录的大数据，学习得出用户的兴趣爱好，预测出用户的偏好，精准理解用户意图，同时对语言进行匹配计算，实现精准匹配。

2. 人工智能在智能建造各阶段的应用

(1) 智能的设计过程

建筑设计不再沿用现在的方式，只要知道建筑物所处的地理位置信息，就能结合智能城市的数据，生成符合城市规划特色的个性化外观，能够智能适应所处区域的气候特征。只要获取未来建筑物中的主要生活对象的数据，就可以智能生成功能完善的建筑，并合理设置各类功能区，让住宅大厦适合居住，办公大厦适合工作，智能厂房适合生产活动。人工智能技术设计的建筑，将配合人类生活和工作的需要，集成各类智能传感设备，让每一个设计都围绕“人”展开。

(2) 智能的建造过程

建造过程将不再是现在的场景：大量的作业工人、复杂的管理过程，随时可能发生的风险，使施工现场环境非常杂乱。全面智能优化的建设方案将依据项目特点、周边地貌、环境自动生成作业指导方案，自动感知和评估资源配置，进而在最优的进度规划下合理配置各类资源。在各种危险的作业环境中，智能机器人将代替人类作业。管理者可以实现对整个建造过程的远程管理。

(3) 智能的运维过程

在运维阶段，巡检、安防、维修保障等全面保障建筑物安全运行的工作都可由智能机器人完成。各类系统的运行数据将被实时采集，数据经过分析做出相应决策后，通过中央系统进行动态调配指令，将建筑物真正融入人们的生活。例如，上班高峰期的电梯运行不再是简单的程序控制，而是通过智能识别乘坐人员信息以后，根据乘坐人员所处工作楼层快速调配电梯运行。每一部电梯都可以在乘坐人员需要的时候，随时进行路径规划，实现在乘坐人员离开办公位置或出家门的时候，就可以进行电梯呼

叫。到达电梯口的时候，将有电梯负责运送至目标楼层。

二、大数据

（一）大数据的定义

大数据是指采用新技术手段处理的海量、高增长率和多样化的信息资产。大数据技术可以定义为一种软件实用程序，旨在提取、分析与处理大型数据集的信息，进而实现对生产的指导意义。大数据技术的意义并不在于掌握庞大的数据信息量，而在于对这些含有意义的数据进行专业化处理。

（二）大数据的特点

1. 大量

大数据的数据数量十分庞大，通常指 10 TB（1 TB=1024 GB）规模以上的数据。例如，据统计，全球每秒发送 290 万封电子邮件，一分钟读一篇的话，足够一个人昼夜不停地读 5.5 年，由此可见大数据的庞大数据量。

2. 高速

数据的产生十分迅速，并且强调数据是快速动态变化的。在许多场景下，数据都具有时效性，如搜索引擎要在几秒内呈现出用户所需的数据，企业或系统在面对快速增长的海量数据时，必须快速响应、高速处理。

3. 多样

数据类型的多样，不仅包括传统的关系数据类型，而且也包括以网页、视频、音频、email、文档等形式存在的未加工的、半结构化的和非结构化的数据。

4. 低价值密度

价值密度是指单位数据所产生的有价值的信息量。大数据时代，虽然数据量庞大，但大量数据是没有价值的，价值密度低了很多。数据价值密度低，人们获取有用信息的难度加大。

5. 真实性

数据来源于现实世界，这些数据是大量用户实践的结果，能够反映实际情况。例如，金融交易系统里的交易数据都是用户使用系统进行金融交易时累积的结果，这些信息都是真实有效的。

（三）大数据技术的应用

土木工程涉及许多领域的的数据，非常庞大复杂。大数据技术的快速与高效帮助解

决了土木工程数据处理的问题，使土木工程数据能够挖掘出更多的潜在价值。

1. 辅助建筑耗能分析

建筑能耗与众多因素有密切关系。根据现有研究，可以通过数据挖掘框架的应用，深入分析空间的占用数据，然后通过先进的大数据技术计算出建筑的占用模式以及相应的时间表，并以此为依据提出能源解决方案。图 2-6 为某能源管理中心平台。



图 2-6 某能源管理中心平台

2. 检测建筑物破坏

破坏检测是在特殊情况下对建筑物的受损程度进行检测的技术实施过程。在破坏检测的过程中会产生大量数据，必须采用大数据技术对数据进行准确高效的处理。当前已有许多技术被提出，例如并行计算技术，该技术可以提高震前地图及震后地图的对比分析，使建筑物破坏检测速度有了本质上的提升。该技术已于 2013 年成功应用于四川雅安地震震后建筑破坏三维检测，取得了良好效果。

3. 工程造价数据库

现阶段工程造价采用的是传统的工程量清单计算工程造价，由于价格会随着市场的变化有所浮动，且同一材料在不同地区的价格也会有所不同，因此必须对工程造价中的材料资源数据进行及时分析，使准确的工程造价数据可以在部门之间共享，参与工程的各方人员都能够便捷地获取和使用数据。

4. 智能监控系统

通过大数据技术和人工智能技术的融合应用可以监督工人的行为。通过人工智能算法对采集到的数据进行分析处理，最终可以进行智能决策。例如，在施工现场安全监控方面，为了分析工人的行为，目前可以采用一种基于视觉的动作捕捉的新兴技术，此项技术根据从视频中提取的 3D 骨骼运动模型来进行工人的运动跟踪。

三、云计算

(一) 云计算定义

云计算是一种分布式计算技术，是通过网络将庞大的计算处理程序自动拆分成无数个较小的子程序，再交由多部服务器组成的庞大系统，经搜寻、计算分析之后将处理结果回传给用户的过程。云计算是一种资源交付和使用模式，提供资源的网络被称为“云”。“云”中的资源在使用者看来是可以无限扩展的，并且可以随时获取。



云计算

(二) 云计算特点

1. 超大规模

“云”具有相当大的规模，例如 Google 云计算技术已经拥有了数百万台服务器，企业私有云一般拥有成百上千台服务器。

2. 虚拟化

用户所请求的资源来自“云”，用户只需要一台笔记本或一部手机，就可以通过网络服务来获取需要的一切资源。

3. 高可靠性、通用性、可扩展性

“云”使用了数据多副本容错等措施来保障服务的高时效性、高可靠性。使用云计算技术比使用本地计算机可靠。云计算技术不针对特定的应用，在“云”的支撑下可以构建出千变万化的应用，同一个“云”可以同时支撑不同的应用运行；“云”的规模可以动态伸缩，满足应用和用户规模增长的需要。

4. 按需自助服务

“云”是一个庞大的资源池，可以像水、电、煤气那样按需计费。用户可以在任何需要的时候请求一个或多个服务，并且可以使用“即付即用”的方法去支付，而不必与人进行交互。

5. 高性价比

“云”的自动化集中式管理使大量企业无需负担日益高昂的数据中心管理成本，与

传统计算机系统相比，“云”的通用性使资源的利用率大幅提升，因此，用户可以充分享受“云”的低成本优势。

6. 潜在的危险性

云计算技术服务还提供了存储服务。但是，云计算技术服务当前主要是由私人机构（企业）提供，而他们仅能提供商业信用。对于政府机构、商业机构（特别是像银行这样持有敏感数据的商业机构），选择云计算技术服务时应保持足够的警惕。

（三）云计算技术应用

1. BIM 云平台

云计算与 BIM 结合能够较好地解决传统 BIM 应用中存在的共性问题。BIM 云平台以 BIM 模型为载体，以进度为主线，以经济为核心，该平台将 BIM 模型与进度、成本、质量、物料等信息进行关联，为项目各个岗位提供模型和信息数据，可为 C/S（PC 端）、B/S（网页端）、M/S（移动端）提供面向工程领域多方的 BIM 数据采集、存储、处理、共享的业务数据平台。

2. 工程结构健康监测

云计算为处理结构健康监测得到的海量数据做出了突出贡献。以中国高速铁路为例，中国铁道科学研究院基于云计算开发了一种面向用户的高速铁路桥梁综合预测与健康管理系统（PHM）系统。PHM 系统依托客户端（C/S）、广域网（B/S）、移动互联网（M/S）网络架构，借助移动设备使检修现场作业信息化、标准化。

3. 云边协同应用

云计算与边缘计算的协同应用，结合了云计算的高效资源服务的优势和边缘计算的低时延的优势。在云边协同的过程中，边缘计算主要负责处理需要实时处理的数据，将高价值的数据上传至云端，云计算则负责处理那些不需要实时处理且周期长的数据，并负责管理边缘应用的整个生命周期。

四、区块链技术

（一）区块链定义

区块链是一个又一个区块组成的“链条”，每一个区块中保存了一定的信息，它们按照各自产生的时间顺序连接成链条。链条被保存在所有的服务器中，只要整个系统中有一台服务器可以工作，整条区块链就是安全的。这些服务器在区块链系统中被称为“节点”，它们为整个区块链系统提供存储空间和算力支持。