

高等职业教育智能建造专业“十四五”系列教材

智能建造概论

周雨微 周 岚 冯春菊 主编



南京大学出版社

高等职业教育智能建造专业“十四五”系列教材

智能建造概论

主 编 周雨微 周 岚 冯春菊
副主编 王沫涵 李翠华 胡晓敏
张少坤 罗 荣



南京大学出版社

内容提要

本教材包括三个模块。模块一 绪论包括 2 个学习单元,分别为建筑概述、智能建造产生背景;模块二 认知全新智能技术包括 1 个学习单元即智能建造核心技术;模块三 建筑全过程智能建造包括 5 个学习单元,分别为建筑信息化设计、建筑数字化测量、建筑工业化施工、建筑智能化验收、智慧工地现场管理。

本教材适合高职院校建筑工程技术、智能建造技术、装配式建筑工程技术、工程造价、建设工程管理等专业使用。通过对本书的学习,读者会了解到各类新技术、新工艺、新设备、新材料在建筑工程领域中的应用,并对建筑行业的新业态、新模式有较为深刻的认识。

图书在版编目(CIP)数据

智能建造概论 / 周雨微, 周岚, 冯春菊主编.

南京: 南京大学出版社, 2025. 8. -- ISBN 978-7-305-29347-4

I. TU74-39

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025QX9208 号

出版发行 南京大学出版社
社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093

书 名 智能建造概论
ZHINENG JIANZAO GAILUN

主 编 周雨微 周 岚 冯春菊

责任编辑 朱彦霖 编辑热线 025-83597482

照 排 南京开卷文化传媒有限公司

印 刷 南京百花彩色印刷广告制作有限责任公司

开 本 787 mm×1092 mm 1/16 印张 11.75 字数 301 千

版 次 2025 年 8 月第 1 版 2025 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-305-29347-4

定 价 39.80 元

网 址: <http://www.njupco.com>

官方微博: <http://weibo.com/njupco>

微信服务号: njuyuexue

销售咨询热线: (025)83594756

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购
图书销售部门联系调换

党的二十大报告中指出,高质量发展是全面建设社会主义现代化国家的首要任务,建筑业作为国民经济支柱产业,要立足新发展阶段,完整、准确、全面贯彻新发展理念,以推动建筑业高质量发展为主题,以深化供给侧结构性改革为主线,加快转型升级,实现绿色低碳发展。

当前,我国建筑业正经历着深化改革、转型升级和科技跨越同步推进的发展过程。2020年07月03日,住房和城乡建设部等十三部门联合印发《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》,指出要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,创新突破相关核心技术,加大智能建造在工程建设各环节应用,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。智能建造行业正迎来发展的春天,在可见的未来将从产品形态、建造方式、经营理念、市场形态以及行业管理等方面引发传统建筑业的变革。

本书以智能建造的应用需求为导向,智能建造的专业基础知识和关键技术为主线进行编写,全书共分为3个模块,8个学习单元。模块一为认知建筑建造过程,对建筑发展历史、结构、材料等进行简单的介绍并阐明了智能建造产生的背景;模块二为认知全新智能技术,对BIM、GIS、大数据、云计算、人工智能等技术的定义、特点、应用进行了介绍;模块三为建筑全过程智能建造,按照建筑建造阶段依次展开,分别讲解智能建造在建筑设计、测量、施工、验收、管理中的具体应用。每个单元前附有思维导图,单元中穿插数字化资源、课堂互动,单元最后精心设置各种形式的综合考核如创新设计、查阅文献、案例研讨、头脑风暴等,贯彻落实德智体美劳全方位育人。

教材编写具体分工如下:

本书由湖北水利水电职业技术学院周雨微、武汉船舶职业技术学院周岚、红河职业技术学院冯春菊担任主编,武汉船舶职业技术学院王沫涵,湖北水利水电职业



技术学院李翠华、胡晓敏、张少坤,云南现代职业技术学院罗荣担任副主编,广联达科技股份有限公司刘湃、长江设计院王胜斌、湖北水利水电职业技术学院肖长永参与本书编写工作。

本书在编写过程中,参考了大量国内外教材、专著、论文和研究报告,也参考了国内外智能建造相关领域的公众号、宣传报道、政策和文献等,在此对相关资料的作者及给予帮助的同仁一并表示感谢。

由于编者的水平有限,书中不当之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

南京大学出版社
版权所有

模块一 认知建筑建造过程

学习单元 1 建筑概述	003
1.1 建筑发展历史	004
1.2 建筑类型简介	010
1.3 建筑材料简介	017
1.4 建筑结构简介	021
学习单元 2 智能建造产生背景	026
2.1 建筑行业发展现状及问题	027
2.2 国家相关政策文件	033
2.3 智能建造发展趋势	040

模块二 认知全新智能技术

学习单元 3 智能建造核心技术	047
3.1 通用类技术	048
3.2 建造类技术	063

模块三 建筑全过程智能建造

学习单元 4 建筑信息化设计	077
4.1 建筑信息化设计概述	078

4.2	建筑信息化设计国内外发展概况	082
4.3	建筑信息化设计案例分析	084
学习单元 5 建筑数字化测量		095
5.1	建筑数字化测量概述	095
5.2	建筑数字化测量国内外发展概况	098
5.3	建筑数字化测量案例分析	103
学习单元 6 建筑工业化施工		107
6.1	建筑工业化施工概述	108
6.2	建筑工业化施工国内外发展概况	114
6.3	建筑工业化施工案例分析	124
学习单元 7 建筑智能化验收		131
7.1	建筑智能化验收概述	132
7.2	国外建筑智能化验收	136
7.3	国内建筑智能化验收	144
学习单元 8 智慧工地现场管理		156
8.1	施工现场管理问题	157
8.2	智慧工地管理系统	158
8.3	智慧工地管理案例分析	169
参考文献		179

模块一

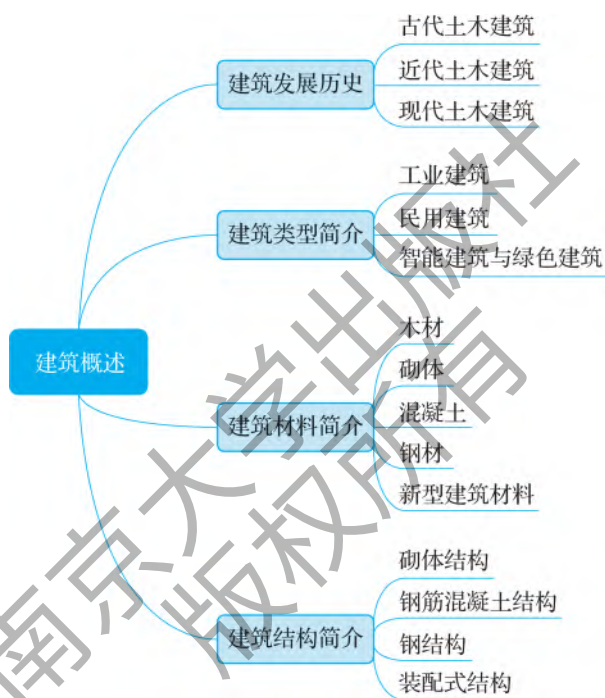
认知建筑建造过程

南京大学出版社



南京大学出版社
版权所有

学习单元 1 建筑概述



学习目标

知识目标：

- (1) 了解建筑的发展历史；
- (2) 了解建筑的基本类型；
- (3) 掌握常用建筑材料及新型建筑材料；
- (4) 掌握常见三大建筑结构及装配式建筑结构。

能力目标：

- (1) 能说出不同历史时代的代表性建筑；
- (2) 能按功能判断建筑类型；
- (3) 能区分不同建筑材料各自的特点；
- (4) 能判定不同建筑结构的适用范围。



素质目标:

- (1) 增强历史文化素养和审美能力;
- (2) 锻炼逻辑思维,增强优选方案解决问题的能力;
- (3) 培育创新精神。

1.1 建筑发展历史

建筑是人类文明和文化最早的记忆,也是人类社会发展和进步的标志。建筑根据其发展历程可分为古代土木建筑、近代土木建筑、现代土木建筑。

1.1.1 古代土木建筑

古代土木工程有着很长的时间跨度,它大致从新石器时代(约公元前 5000 年起)开始至 17 世纪中叶,其发展大体可分为萌芽时期、形成时期、发达时期:

(1) **萌芽时期:**原始人利用天然掩蔽物,后使用简单工具,以黏土、木材和石头等建造居住场所。典型代表如中国仰韶文化遗址、半坡村遗址的建筑,以及埃及新石器时代住宅等。

(2) **形成时期:**随着生产力发展,农业与手工业分工后,建筑材料上出现烧制的瓦和砖,施工工具有青铜及铁制工具,结构构造方面形成木构架、石梁柱等结构体系,建造内容包括宫殿、陵墓等大型建筑及道路、桥梁、水利工程。

(3) **发达时期:**铁制工具普遍使用,工程效率提高,工程材料出现复合材料,工程形式增多,分工细致,技术精湛。典型代表如中国故宫、万里长城,埃及金字塔,希腊帕特农神庙等伟大工程。

以下列举部分古代土木工程典型代表作:



图 1-1 西安半坡村房屋复原模型

(1) **西安半坡遗址:**半坡遗址是黄河流域一处典型的新石器时代仰韶文化^①遗址,1953 年春发现,1954 年开始发掘。半坡遗址有很多圆形房屋的痕迹。经分析是直径为 5~6 m 圆房屋的土墙,墙内竖有木柱,支承着用茅草做成的屋面,茅草下有密排树枝起龙骨作用。现仍遗存有木柱底的浅穴和一些地面建筑残痕,见图 1-1。

(2) **吉萨金字塔群:**埃及帝王陵墓,建于公元前 27 世纪。其中以古王国第四王朝法老胡夫金字塔最大。该塔塔基呈方形,每边长约 230 m,高约 146.6 m,用 230 余万块巨石砌成,塔

^① 仰韶文化:约公元前 5000~前 3000 年我国新石器时代的一种文化称仰韶文化,1921 年首次发现于河南省渑池县仰韶村,分布于黄河中下游流域,遗留有残穴和平面为圆形、方形和多室联排矩形的地面建筑残迹。

内有甬道、石阶、墓室等。见图 1-2。



图 1-2 吉萨金字塔

(3) **万里长城**:公元前 7 世纪春秋时期的楚国开始建造绵延数百里的长城,公元前 221 年秦统一中国后将战国时期各国修筑的自卫长城连接起来,长达约 2 500 km。以后汉、南北朝、隋、金直至明朝都大规模修筑长城。至今西起嘉峪关,东至辽宁虎山,绵延 8 851.8 公里的万里长城,是明代遗留下来的。见图 1-3。



图 1-3 万里长城

(4) **都江堰大型水利工程**:始建于秦昭王末年的四川大型引水枢纽,是世界历史上最长的无坝引水工程。此工程以灌溉为主,兼有防洪、水运、供水等多种效益,一直沿用至今,其规模之大,规划之周密,技术之合理,均为前所未有的。

(5) **赵州桥**:公元 595~605 年建造在河北省赵县洨河上留存至今的敞肩石拱桥。该桥全长 64.4 m,拱顶宽 9 m,拱脚宽 9.6 m,跨径 37.02 m,拱矢高 7.23 m,采用 28 条并列拱券砌筑。拱上设有 4 个小拱,既能减轻桥身自重,又便于排洪,且更显美观。该桥无论在材料使用、结构受力、艺术造型和经济上都达到极高成就,是世界上最早的敞肩式拱桥。见图 1-4。



图 1-4 赵州桥

(6) 山西应县木塔(佛宫寺释迦塔):公元 1056 年建成,塔高 67.3 m,塔身八角形,底层直径 30.27 m。该塔共 9 层,其中 8 层是用 3 m 左右长的木柱支顶重叠而成。它经多次大地震仍完整无损,是我国保存至今的唯一木塔,也是我国现存的最高的木结构之一。

1.1.2 近代土木建筑

近代土木工程是土木工程发展历程中的一个重要阶段,其时间跨度为从 17 世纪中叶至 20 世纪中叶的 300 年间。这段历史时期内土木工程领域发生的主要事件包括:

(1) 1687 年,英国科学家牛顿总结出经典力学三大定律,成为土木工程设计的理论基础。

(2) 1709 年(康熙四十八年),圆明园始建,至 1770 年(乾隆三十五年)基本建成,后嘉庆、道光、咸丰年间又有所增建,是当时世界上最大的皇家园林。

(3) 1744 年,瑞士数学家欧拉出版的《曲线的变分法》建立了柱的压屈理论,得到计算柱的临界受压力的公式,为分析土木工程结构物的稳定问题奠定了基础。

(4) 1825 年,纳维建立了土木工程中结构设计的容许应力分析法;19 世纪末,里特尔等人提出极限平衡的概念。

(5) 1824 年,英国人阿斯普丁取得了波特兰水泥的专利权,1850 年水泥开始生产。水泥是形成混凝土的主要材料,使得混凝土在土木工程中得到广泛应用。20 世纪初,学术界发表了水灰比的概念,初步奠定了混凝土强度的理论基础。

(6) 1859 年,发明了贝塞麦转炉炼钢法,使得钢材得以大量生产,并能愈来愈多地应用于土木工程。

(7) 1867 年,法国人莫尼埃用铁丝加固混凝土制成花盆,并把这种方法推广到工程中,建造了一座蓄水池,这是应用钢筋混凝土的开端。

(8) 1883 年,美国芝加哥有“摩天楼之父”称号的詹莱建造了一栋 11 层家庭保险大楼,是世界上最先用铁框架(部分钢架)承受全部大楼里的重力,外墙仅为自承重墙的高层建筑。见图 1-5。

(9) 1889 年,法国巴黎建成高 324 米(含天线 24 m)的埃菲尔铁塔,用钢量约 7 300 t,成为近代高层建筑结构的萌芽。见图 1-6。



图 1-5 詹莱主持建造的住宅保险大楼



图 1-6 法国巴黎埃菲尔铁塔

(9) 1779 年,英国用铸铁建成跨度为 30.5 m 的拱桥;1826 年,英国用锻铁建成第一座跨度为 177 m 的悬索桥;1890 年,英国又建成两孔主跨达 521 m 的悬臂式桁架梁桥。至此现代桥梁的 3 种基本形式(梁桥、拱桥、悬索桥)相继出现。

(10) 1905~1908 年间,中国铁路工程先驱詹天佑创造了京张铁路的建造奇迹。在崇山峻岭的复杂地形地质条件下,以有限的经费(最终费用仅占外国预估的 1/5),按照“使用复式机车”“最合理选线”的配合设计,使列车顺利爬上 33.33% 坡度,成为世界之最。见图 1-7。



图 1-7 京张铁路

这一阶段世界正经历着工业革命带来的深刻变革,工业快速发展,人口向城市聚集,对各类基础设施的需求大幅增长,同时,新材料、新设备、新工艺、新技术、新理论不断涌现,为土木工程的现代化进程奠定了基础。

1.1.3 现代土木建筑

现代土木工程为二十世纪中叶第二次世界大战结束后至今的土木工程。随着全球科技飞速进步、经济高速发展以及人口持续增长,社会对土木工程的需求变得更加多样化、大规



模、高标准。这一阶段各类新技术、新材料、新工艺和新设备不断涌现,土木工程的建造特点可概括为以下几个方面:

(1) 先进的设计理论和计算方法

借助有限元分析软件、BIM 软件等进行设计,可以对复杂的土木工程结构进行精确的力学性能分析,模拟结构在不同荷载作用下的受力和变形情况、优化结构设计方案。在设计大型桥梁或者超高层建筑时,通过软件进行模拟分析能提前发现潜在的结构薄弱点,对结构的构件尺寸、布置等进行调整,提高结构的安全性和经济性。

一些新的理论与分析方法,如计算力学、结构动力学、动态规划、网络、随机过程和波动理论等已深入到土木工程的各个领域。

(2) 建筑材料高强度、轻质化

现代土木工程的材料进一步高强度和轻质化。中国从 20 世纪 60 年代起推广锰硅系列和其他系列的低合金钢,大大节约了钢材用量并改善了结构性能。高强钢丝、钢绞线和粗钢筋的大量生产,使预应力混凝土在桥梁、建筑等工程中得以推广,C50~C80 号混凝土已在工程中普遍应用。普通混凝土向轻骨料混凝土、加气混凝土和高性能混凝土方向发展,使混凝土的容量由 24.0 kN/m 降至 $6.0 \sim 10.0 \text{ kN/m}$,抗压强度从 $20 \sim 40 \text{ N/mm}^2$ 提高到 $60 \sim 100 \text{ N/mm}^2$,轻集料混凝土和加气混凝土已应用于高层建筑。此外,铝合金、镀膜玻璃、石膏板、建筑塑料、玻璃钢等工程材料发展迅速。

(3) 建造施工装配化、工业化

装配式建筑是指把传统建造方式中的大量现场作业工作转移到工厂进行,在工厂预制加工好建筑所需的各类构件,比如预制墙板、预制楼板、预制楼梯、预制阳台等,然后将这些预制构件运输到施工现场,通过可靠的连接方式进行组装搭建,从而形成完整的建筑物。随着装配式建筑的诞生和普及,现代土木工程建造方式逐渐由现场生产转变为工厂生产、现场装配,建筑工业化程度显著提高。见图 1-8。



图 1-8 装配式建筑

(4) 工程功能多样化、规模化

人们日益提升的生活水平对土木工程的功能提出了更多要求,公共和住宅建筑物要求建筑结构、给水、排水、采暖、通风、燃气、供电等要素结合成整体,工业建筑物往往要求恒温、

恒湿、防微振、防腐蚀、防辐射、防火、防爆、防磁、防尘、防高(低)温、耐高(低)湿,并向大跨度、超重型、灵活空间方向发展。

同时,土木工程展现出显著的规模化特征。建筑领域中,众多城市中高楼大厦鳞次栉比,超高层建筑动辄数十上百层,占地面积广阔,内部空间复杂;交通方面,大型的跨海大桥、跨江大桥绵延数公里甚至数十公里,横跨水域连接多地;水利工程里,大型水利枢纽工程规模宏大,大坝雄伟壮观、绵延千米,水库库容巨大,灌溉、发电等系统建设工程量浩大。

(5) 城市建设绿色化、立体化

城市建设正朝着绿色化、一体化的方向大步迈进,这一趋势不仅重塑着城市的外在风貌,更深刻影响着城市居民的生活品质与城市的可持续发展能力。

新加坡的滨海湾花园就是绿色化建设的杰出典范,它巧妙地将大片的植物景观与现代化的城市建筑相融合,园内拥有数量众多的珍稀植物品种,这些植物通过精心设计的垂直绿化和超级树等创新形式进行展示,不仅为城市增添了一道极具视觉冲击力的风景线,还在调节局部气候、净化空气、吸收噪声等方面发挥着积极作用,让人们身处繁华都市之中也能感受到大自然的清新与宁静。

高层建筑成了现代化城市的象征,1967年苏联莫斯科建成高537m的莫斯科电视塔。1974年美国芝加哥建成高达443m的西尔斯大厦。1976年加拿大多伦多建成的多伦多电视塔为Y形截面预应力混凝土结构,高553.33m。1995年我国建成的上海电视塔“东方明珠”,高468m。1996年马来西亚建成高452m的吉隆坡双子塔。1997年我国建成的上海金茂大厦采用钢筋混凝土和钢结构的混合结构,高421m。2008年采用钢结构建造的上海环球金融中心高达492m。2009年建成的广州塔高达600m,建成时为中国第一高塔。2010年迪拜建成的哈利法塔为束筒结构,总高达828m,造价15亿美元,为当前世界第一高楼与人工构造物(图1-9)。2012年建成的东京晴空塔(又称“天空树”),高达634m。2016年竣工的上海中心大厦,高达632m(图1-10)。



图 1-9 哈利法塔



图 1-10 上海中心大厦



(6) 交通设施高速化、网络化

现代世界是开放的世界,高速公路的里程数已成为衡量一个国家现代化程度的标志之一,铁路出现了电气化和高速化的趋势。交通高速化直接促进了桥梁、隧道技术的发展。不仅穿山越江的隧道日益增多,而且出现长距离的海底隧道。1937年建成的钱塘江大桥是中国工程师主持建设的第一座近代大跨径桥梁。1998年建成的连接日本的本州与四国岛的明石海峡大桥,主跨 1 991 m,是目前世界上跨度最大的悬索桥。1999年建成的江阴长江大桥,主跨 1 385 m。1997年在香港建成的青马大桥,主跨度 1 377 m。1997年,在四川万县建成的万县长江大桥(现万州长江大桥),拱跨 420 m,是当时世界上同类型跨度最大的拱桥。1993年在上海建成的杨浦大桥,为斜拉桥,主跨 602 m。2008年建成的苏通大桥为斜拉桥,主跨 1 088 m。2012年建成的俄罗斯岛大桥,跨度 1 104 m,是世界上最长的斜拉桥。2005年建成的润扬长江大桥,为悬索桥,跨度 1 490 m。2018年建成的港珠澳大桥(图1-11),连接香港、珠海、澳门三地,大桥全长 55 km,其中桥岛隧集群的主体工程长约 29.6 km,包括 22.9 km 的桥梁、6.7 km 的海底隧道及连接隧道和桥梁的东西人工岛,它也是当前世界最大规模的桥岛隧集群工程。



图 1-11 港珠澳大桥

拓展学习



港珠澳大桥

课堂互动

请同学们分组,每组从古代、近代、现代土木工程所有典型代表作中选取 1 个最感兴趣的工程案例并收集相关资料和图片,说说工程概况、材料和结构形式、功能和特点以及其时代意义。

1.2 建筑类型简介

建筑按照其功能可以划分为农业建筑、工业建筑、民用建筑,其中工业建筑和民用建筑占比较大。

农业建筑:为农业生产、农产品储存及相关活动服务的建筑,农业建筑对农业生产的顺利进行、农产品的妥善保存等起着关键保障作用。如温室大棚、养殖场、粮仓等。

工业建筑:主要服务于工业生产活动,是工业生产的基础载体,工业建筑的结构应根据生产特点设计,保证工业生产能安全、高效地在建筑内开展。常见工业建筑如厂房、仓库等。

民用建筑:人们日常居住、生活以及开展各类公共活动的建筑,在设计时会考虑美观、舒适、安全等多因素,民用建筑结构形式多样,以适应不同功能与层数需求,旨在为人们打造良好生活和活动环境。如住宅、写字楼、商场、学校、医院、体育馆等。

除以上传统建筑类型外,随着社会各项技术的发展以及人们对生活品质的需求不断提高,智能建筑和绿色建筑应运而生。

1.2.1 工业建筑

工业建筑在 18 世纪后期最先出现于英国,后来在美国以及欧洲一些国家兴建。苏联在 20 世纪 20~30 年代开始进行大规模工业建设。中国在 50 年代开始大量建造各种类型的工业建筑。工业建筑是工业生产的重要物质基础,同时也对城市的经济发展和空间布局有着重要影响。

1. 工业建筑分类

按用途分:主要生产厂房、辅助生产厂房、动力用厂房、储存用房屋、运输用房屋及其它。

按层数分:单层厂房、多层厂房、混合层次厂房。其中单层厂房结构简单,可采用大跨度、大进深,便于使用重型起重运输设备;多层厂房有利于安排竖向生产流程,管线集中,管理方便,占地面积小。

按生产状况分:冷加工车间、热加工车间、恒温恒湿车间、洁净车间、有爆炸可能性的车间、有大量腐蚀作用的车间、有防微震、高度噪声、防电磁波干扰等车间。

2. 工业建筑特点

(1) **满足生产工艺要求:**厂房的设计、布局 and 结构等需根据生产流程和设备需求确定。

(2) **内部空间较大:**为容纳大型生产设备、原材料和产品等,通常有较大的面积和空间,如大型单层厂房跨度可达数十米甚至上百米。

(3) **结构构造复杂:**因需承受较大荷载、适应不同生产环境和工艺要求,其结构和构造复杂,技术要求高,常采用钢筋混凝土结构或钢结构等。

(4) **紧密结合生产:**与生产活动紧密相连,需考虑生产过程中的物料运输、人员流动、设备安装与维修等。

(5) **采光通风及屋面排水复杂:**需根据不同生产要求和厂房形式,设计合理的采光、通风和屋面排水系统,如有的厂房需采用天窗采光和机械通风。

3. 工业建筑案例

(1) 船厂 1862

始建于 1862 年的上海船厂,曾是中国现代工业文明的发源地之一,国内第一艘出口万吨

轮“绍兴号”在此下水。改造后成为一个 26 000 平方米的时尚艺术商业中心,包含 800 座的中型艺术剧院“1862 时尚艺术中心”以及约 16 000 平方米的沉浸式艺术商业空间。见图 1-12。



图 1-12 船厂 1862

(2) 上海国际时尚中心

原为上海第十七棉纺织总厂,前身为 1921 年日商裕丰纺织株式会社裕丰纱厂。从百年老厂成功转型后,总建筑面积约 13 万平方米,以时尚为核心立意,集创意、文化及现代服务经济于一体,还拥有 300 多米的黄浦江岸线,汇集了多功能秀场等多个功能板块。

1.2.2 民用建筑

民用建筑是供人们居住和进行公共活动的建筑的总称,它与人们的日常生活息息相关,涵盖了丰富多样的类型,旨在满足人们不同方面的生活、社交、文化、娱乐等需求。它不仅为人们提供了遮风挡雨、生活居住的场所,更是承载了丰富的社会文化活动,促进了人与人之间的交流互动,对提升人们的生活质量、塑造城市的精神面貌以及推动社会的和谐发展都有着至关重要的作用。

1. 民用建筑分类

(1) 按使用功能分为居住建筑和公共建筑

居住建筑:供人们居住使用,可分为住宅建筑和宿舍建筑。住宅建筑包括普通住宅、公寓、别墅等;宿舍建筑有单身宿舍、学生宿舍、职工宿舍等。

公共建筑:供人们进行各种公共活动,包括教育建筑如托儿所、幼儿园、学校等;办公建筑如机关、企业单位的办公楼等;科研建筑如研究所、实验室等;商业建筑如商店、商场、菜市场、餐馆、旅店等;金融建筑如银行、证券交易所、保险公司等;文娱建筑如电影院、剧院、音乐厅、影城、会展中心、展览馆、博物馆等;医疗建筑如医院、诊所、疗养院等;体育建筑如体育馆、体育场、健身房等;交通建筑如航空港、火车站、汽车站、地铁站、水路客运站等;民政建筑如养老院、福利院、殡仪馆等;司法建筑如检察院、法院、公安局、监狱等;宗教建筑如寺院、教堂等;通信建筑如电信楼、广播电视台、邮电局等;园林建筑如公园、动物园、植物园、亭台楼榭等;纪念性建筑如纪念堂、纪念碑、陵园等。

(2) 按建筑高度与层数可分为低层建筑、多层建筑、中高层建筑、高层建筑和超高层建筑

低层建筑:1—3层的住宅建筑。

多层建筑:4—6层的住宅建筑,以及4—6层的公共建筑和宿舍建筑。

中高层建筑:7—9层的住宅建筑。

高层建筑:10层以上的住宅建筑和总高度大于24m的公共建筑及综合性建筑。

超高层建筑:高度超过100m的住宅或公共建筑。

2. 民用建筑特点

(1) 功能多样性

民用建筑功能丰富多样,居住建筑主要满足人们的居住需求,提供舒适、安全的居住空间;公共建筑则包括学校、医院、商场、剧院、体育馆等,用于教育、医疗、商业、文化娱乐等各种公共活动空间,有各自特定的功能和空间要求。

(2) 空间灵活性

既可以是规则的几何形状,如长方形、正方形等,也可以根据地形、环境和功能需求设计成不规则形状。同时,内部空间可以灵活分隔和组合,以适应不同的使用要求和生活方式,如住宅中的客厅、卧室、厨房、卫生间等空间可以根据用户需求进行调整和改造。

(3) 设计人性化

注重满足人们的生理和心理需求,在设计时会考虑到采光、通风、日照、隔音、隔热等因素,以提供舒适的室内环境;同时,还会设置无障碍通道、电梯、扶手等设施,方便老年人、残疾人等特殊人群使用。

(4) 安全性要求高

在结构设计上,必须保证建筑的稳定性和安全性,能够承受各种荷载,如自重、活荷载、风荷载、地震荷载等;在防火方面,要采用防火材料和设计防火分区、疏散通道等,以确保在火灾发生时人员能够安全疏散;在防雷、防洪、防滑等方面也有相应的措施和要求,以保障使用者的生命财产安全。

(5) 耐久性与经济性

民用建筑一般需要有较长的使用寿命,因此在材料选择和结构设计上要考虑耐久性,以减少维修和更换的频率;同时也要兼顾经济性,在保证建筑质量和功能的前提下,合理控制造价,提高投资效益。

(6) 与环境协调性

注重与周边的自然环境和人文环境相协调,建筑的风格、色彩、高度等要与周围的建筑和景观相融合;尽量采用节能、环保的技术和材料,减少对环境的影响,实现可持续发展。

(7) 维护管理常态化

定期进行维护和管理,包括对建筑结构、设备设施、装饰装修等方面的检查、维修和保养,以确保建筑的正常使用和安全性能;对建筑的使用情况进行监测和评估,及时发现和解决问题。



3. 民用建筑案例

(1) 中国国家大剧院

位于中国北京,主体建筑为巨大的椭球形,表面由钛金属板和玻璃幕墙构成,建筑造型独特。内部有歌剧院、音乐厅、戏剧场等多个演出场所,是我国重要的文化艺术表演中心。见图 1-13。

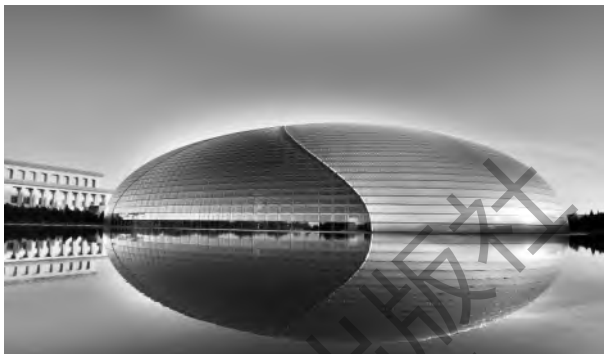


图 1-13 国家大剧院

(2) 平安大厦

位于深圳市福田区,建筑高度 599 米,共 118 层。建筑外形挺拔,高耸入云,是深圳的重要金融中心和商务办公场所,周边配套设施完善,有大型购物中心、餐饮娱乐场所等。见图 1-14。



图 1-14 平安大厦

1.2.3 智能建筑与绿色建筑

1. 智能建筑

智能建筑以建筑物为平台,基于对各类智能化信息的综合应用,集架构、系统、服务、管

理及其优化组合为一体,具有感知、传输、记忆、推理、判断和决策的综合智慧能力,形成以人、建筑、环境互为协调的整合体,为人们提供安全、高效、便利及可持续发展功能环境的建筑。

通过与物联网、人工智能等技术的深度融合,智能建筑有如下特点:

(1) **高效节能**:通过自动化系统精确控制设备运行,降低能源消耗。如智能照明系统根据光线和人员活动自动调节亮度,可大幅节约电能。

(2) **舒适便捷**:为用户提供舒适的室内环境和便捷的生活、工作条件。如智能温控系统保持室内温度适宜,智能家居设备可通过手机远程控制家电。

(3) **安全可靠**:具备完善的安全防范系统,如视频监控、门禁控制、入侵报警等,保障人员和财产安全。系统具备故障诊断和自动修复功能,提高建筑运行可靠性。

(4) **管理效率高**:管理人员可通过中央控制系统实时监控和管理建筑内各类设备和系统,快速响应和处理问题,降低人力成本。

智能建筑典型案例:

北京大兴国际机场

采用五指廊设计,旅客从航站楼中心到最远端登机口步行距离不超过 600 米。广泛应用人工智能、大数据等技术,提供便捷的自助值机、行李托运、安检等服务,实现多种交通方式无缝衔接。旅客在进行一次性人脸注册后,可凭借人脸识别完成购票、值机、托运、安检、登机全流程,无需出示身份证、二维码等,同时机场乘务员也能使用该系统进行旅客复验、清点确认、座位引导等工作。

深圳国际会展中心

以物联网为数据基地,以 BIM 模型为可视化载体,运用数字孪生技术打造新一代数字孪生场馆。如通过物联网技术将场馆内的各类设备设施,如空调、照明、电梯等连接到统一的管理平台,实时监控设备的运行状态、能耗情况等,实现远程控制和自动化管理,提高设备的运行效率和使用寿命,降低维护成本。在场馆内外安装了大量的高清摄像头,实现全方位、无死角的监控覆盖。通过智能视频分析技术,能够自动识别异常行为、人员聚集、火灾烟雾等情况,并及时发出警报。



图 1-15 北京大兴国际机场



图 1-16 深圳国际会展中心



2. 绿色建筑

绿色建筑是指在建筑的全寿命周期内,最大限度地节约资源(节能、节地、节水、节材)、保护环境、减少污染,为人们提供健康、适用和高效的使用空间,与自然和谐共生的建筑。

其“绿色”理念涵盖了建筑从规划设计、施工建造,到运营使用,再到最终拆除的全过程。在每个阶段都需考虑对资源和环境的影响,总的来说其特点如下:

(1) **高效节能**:采用高效的保温隔热材料,如外墙使用聚苯板、岩棉板等保温材料,搭配断桥铝合金门窗,有效降低建筑物的热量传递,减少冬季采暖和夏季制冷的能源消耗。据测算,相较于传统建筑可降低 30%—50% 的能耗。同时绿色建筑强调利用太阳能、风能、地热能等可再生能源。

(2) **节约资源**:体现在节能、节水、节材、节地等方面。

(3) **环境友好**:在施工过程中采取有效措施减少扬尘、噪声、废水等污染物的排放。使用环保型建筑材料,减少室内甲醛、苯等有害物质的释放,改善室内空气质量,保护居住者的健康。注重对建筑周边生态环境的保护和修复。保留和利用原有地形地貌、植被等,营造与自然和谐共生的景观环境。

(4) **健康舒适**:通过合理的通风设计,如自然通风与机械通风相结合,确保室内空气新鲜。采用智能温控系统和智能除湿设备,精确控制室内温度和湿度,为人们营造舒适的居住和工作条件。优化建筑的朝向和窗墙比,充分利用自然光线,减少白天对人工照明的依赖。

绿色建筑典型案例:

新加坡 CapitaGreen

位于新加坡莱佛士坊,2014 年竣工,建筑高度 245 米,共 40 层。见图 1-17。

建筑外立面采用双层幕墙设计,外层幕墙可以有效阻挡阳光直射,减少热量进入室内,同时在两层幕墙之间形成空气流通通道,带走热量,降低室内空调的能耗。建筑的外立面和内部空间融入了大量的绿色植物,这些绿植不仅能美化环境,还能起到隔热、净化空气和减弱噪声的作用。双层幕墙中的内层幕墙采用了透明玻璃,让更多的自然光线进入室内,降低了能源消耗。



图 1-17 新加坡首都大厦

课堂互动

- (1) 请同学们介绍自己家乡的典型代表建筑,判定其是工业建筑还是民用建筑。
- (2) 除课本给出的例子外,收集世界范围内典型智能建筑、绿色可持续建筑案例并分享。

▶ 1.3 建筑材料简介 ◀

木材、砌体材料、混凝土和钢材是常用的几种建筑材料,考虑不同的使用条件、荷载状态、结构形式等可灵活选用。近年来,新型建筑材料如高性能混凝土、纤维增强复合材料(FRP)、真空绝热保温材料的产生给建筑行业带来了巨大的革新。新型建筑材料在性能、环保、功能等方面具有独特的优势。

1.3.1 木材

土木工程用的木材主要取自树木的树干,常用树种如松木、杉木等。常用的木材有原木(除去树皮、树枝和树梢的树干,一般直径 120 mm 以上)、方木(直角锯切且宽厚比小于 3,截面为方形或矩形的锯材)、条木(宽度不大于厚度的 2 倍)、板材(宽度为厚度 3 倍或 3 倍以上的锯材)等(图 1-18)。还可以木材、木质碎料、木质纤维为原料,加胶黏剂制成木质人造板和胶合木。由于木材在生长过程中形成纹理,是各向异性的材料,其顺纹与横纹方向的性能不一。松木顺纹抗拉设计强度为 $8\sim 10\text{ N/mm}^2$,顺纹抗压设计强度为 $10\sim 16\text{ N/mm}^2$ (在承重结构中不允许木材横纹受拉)。

木材有结构自重轻,制作容易,架设简便,工期快,造价便宜等优点;但也有易燃、易腐朽和结构变形大等缺点。



图 1-18 原木和方木

1.3.2 砌体

土木工程用的砌体,是由石材、黏土、块、砖、混凝土、工业废料等材料做成的块材,和水泥、石灰膏等胶凝材料与砂、水混合做成的砂浆,叠合黏结而成的复合材料。砌体品种很多,有各种石砌体、实(空)心砖砌体、中小混凝土块砌体、硅酸盐块砌体等。它们的强度都很低。以常用砖砌体为例,抗压强度只有 $1.5\sim 3.5\text{ N/mm}^2$,抗拉强度仅有 $0.1\sim 0.2\text{ N/mm}^2$ 。见图 1-19。

砌体的优点是易于就地取材,价格低廉,施工简便,隔热保温性以及耐火耐久性好;但因其强度很低导致结构笨重,而且黏土砖与农田争地,应限制使用;此外,砌体结构当前主要是用手工在现场砌筑而成的,施工时劳动量大,工程中质量问题偏多。

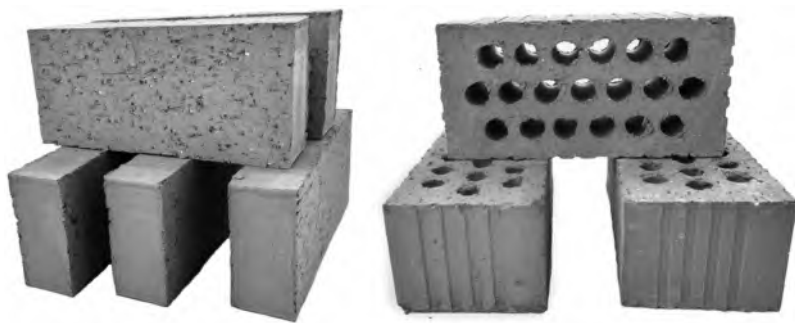


图 1-19 标准砖和多孔砖

1.3.3 混凝土

土木工程所用的混凝土,是由水泥作胶凝材料,以砂、石子作骨料与水(经常还有各种外加剂和掺合料)按一定比例配合,经搅拌、成型、养护而成的水泥混凝土。此外还有保温用的由轻质骨料做成的轻混凝土,铺路面地面用的由沥青和骨料做成的沥青混凝土等。

结构用水泥混凝土的强度等级一般为 C30~C40,甚至可达 C60~C80(指将混凝土做成边长 150 mm 立方体试块的极限压应力分别为 30 N/mm^2 、 40 N/mm^2 、 60 N/mm^2 、 80 N/mm^2)。由于混凝土的抗拉强度很低,混凝土结构多是由混凝土和钢筋黏结组成的钢筋混凝土结构。

混凝土的优点是可模性、耐久性、耐火性、整体性都较好,易于就地取材,价格较低,强度比砖、木材高,能和钢筋黏结做成各种强度高的钢筋混凝土结构;但其自重较大,施工比较复杂,工序多,工期长,易产生裂缝。见图 1-20。



图 1-20 混凝土

1.3.4 钢材

土木工程所用钢材的主要成分是铁(Fe,约占 99%)和少量的碳(C,通常不超过 0.22%),称低碳钢;若还含少量锰(Mn)、硅(Si)、钒(V)等元素,称低合金钢。最常用的类型有型材(如角钢、槽钢、工字钢、H 形钢)(图 1-21)、板材(如薄板、厚板、压型钢板)、管材(如无缝钢

管、有缝钢管)和线材(如钢筋、钢丝、钢绞线)。低碳钢在结构设计中抗拉和抗压设计强度约为 215 N/mm^2 ,低合金钢的抗拉和抗压设计强度可达 $310 \sim 380 \text{ N/mm}^2$ 。

钢材的优点是材质均匀、强度高(因而做成的结构相对质量较轻)、塑性好,便于加工安装;但耐火性差、易于锈蚀、维护费用较高。



图 1-21 H型钢

1.3.5 新型建筑材料

1. 超高性能混凝土(UHPC)

超高性能混凝土(Ultra-High Performance Concrete,简称 UHPC),其抗压强度通常远超普通混凝土,一般可达 60 MPa 及以上,部分甚至能达到 $100 \text{ MPa} \sim 150 \text{ MPa}$ 。高强度特性使建筑结构能够承受更大荷载,适用于建造高层、超高层建筑以及大跨度桥梁等对结构承载能力要求高的工程。超高性能混凝土是一种能同时满足高强度、高耐久性、高工作性(良好的流动性、可塑性、保水性和黏聚性)以及体积稳定性等多项性能要求的混凝土。见图 1-22。

多运用于高层建筑、大跨度桥梁、和水工结构建筑如大坝、港口码头等。

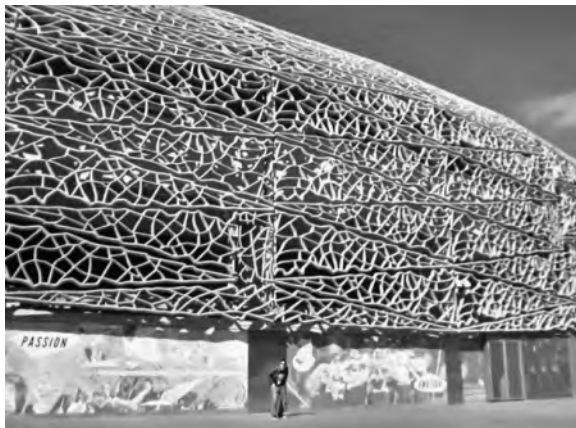


图 1-22 超高性能混凝土建筑

2. 纤维增强复合材料(FRP)

纤维增强复合材料(Fiber Reinforced Polymer,简称 FRP),是由增强纤维材料与基体材料通过特定工艺复合而成的一类高性能材料。见图 1-23。

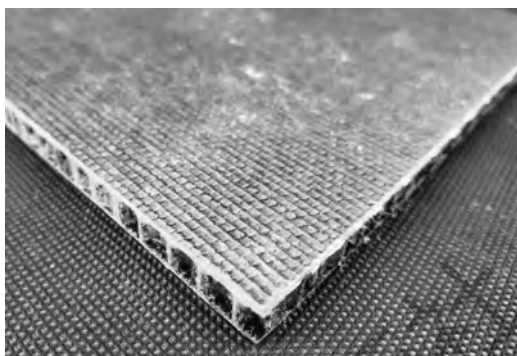


图 1-23 纤维增强复合材料

纤维的高强度特性赋予 FRP 极高的比强度(强度与密度之比),其密度一般为钢材的 $1/4 \sim 1/5$,而强度却可与钢材媲美,甚至更高。在航空航天领域,使用 FRP 制造飞机部件,可有效减轻飞机自重,提高燃油效率和飞行性能。在建筑领域,纤维增强复合材料作为结构增强材料,用于加固和修复混凝土结构,如桥梁、建筑物的梁、柱等;也可制作建筑装饰材料,如采光板、装饰线条等,兼具美观与实用功能。

3. 真空绝热保温材料

真空绝热保温材料是近年来发展起来的一种高效保温材料(图 1-24),真空绝热保温材料拥有极低的导热系数,通常可低至 $0.004 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 以下,远低于传统保温材料,如聚苯板(导热系数约 $0.03 \sim 0.04 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)、岩棉板(导热系数约 $0.04 \sim 0.05 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)。这使得在相同保温效果下,使用真空绝热保温材料的厚度可大幅减小。同时,它还具备保温效果持久、占用空间小、防火等优点。

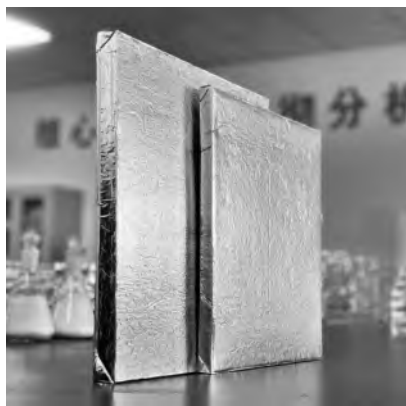


图 1-24 真空绝热板

在建筑工程领域,真空绝热保温材料可用于建筑外墙、屋面、地面等部位的保温隔热,能有效提高建筑物的能源效率,减少冬季采暖和夏季制冷的能耗。另外在冷链物流、工业管道保温等领域也有着广泛的应用。

课堂互动

试从材料强度、价格、施工难度、环保性等各方面比较木材、砌体材料、混凝土和钢材这四种典型材料。

1.4 建筑结构简介

砌体结构、钢筋混凝土结构、钢结构称为建筑三大结构形式,这三种结构形式各有优劣,在实际的建筑项目中,会根据建筑的功能需求、造价成本、施工条件、场地环境等多方面因素综合考虑选用。

智能建造时代装配式建筑结构得到了大力推广,装配式建筑结构通过优化设计、革新施工工艺、改善材料性能、提升质量控制等方面,对传统的建筑结构进行了改良。

1.4.1 砌体结构

砌体结构是指由块体和砂浆砌筑而成的墙、柱作为建筑物主要受力构件的结构体系(图 1-25)。其中块体可以是砖(如烧结普通砖、烧结多孔砖等)、砌块(例如混凝土小型空心砌块、蒸压加气混凝土砌块等)以及石材;砂浆则起着黏结块体、传递应力等作用,常用的砂浆如水泥砂浆、混合砂浆等。砌体结构造价低、就地取材、施工简便、抗压性能较好,但砌体结构抗拉和抗剪性能较弱,如果没有足够的构造措施,在地震作用下墙体很容易开裂甚至倒塌。

古代砌体结构建筑物成就辉煌,埃及胡夫金字塔建成于公元前 2000 多年,是一座用 230 余块巨石砌垒成的高 146.6 m 的伟大建筑。建成于公元 537 年的位于伊斯坦布尔的索菲亚大教堂,是一座用砖砌球壳(直径约 30 m,壳顶离地约 50 m)和石砌半圆拱以及巨型石柱组成的宏伟砖石建筑(图 1-26)。它们至今仍完整地矗立在原址,供世人观赏。



图 1-25 现代砌体结构



图 1-26 伊斯坦布尔的索菲亚大教堂



20 世纪 50 年代以来,我国的砌体建筑结构经历了一个由砖砌体→配筋砖砌体→大型振动砖壁板→配筋混凝土砌块砌体的发展过程。

1.4.2 钢筋混凝土结构

混凝土结构是现代各种土木工程建设中的主要结构类型,包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。素混凝土结构是指不配置钢筋的混凝土结构,在工程中应用较少。钢筋混凝土结构是指在混凝土内配置钢筋的结构。预应力混凝土结构指在结构构件制作时,预先在构件受拉的部位施加预压应力,以改善结构在使用期间的性能。随着预应力概念的提出和成功的应用,高性能混凝土、轻骨料混凝土、纤维混凝土、自密实混凝土、活性粉末混凝土等新型混凝土的出现和发展,使混凝土的应用范围大大扩展。它可应用于土木工程的各个领域,如高层和超高层建筑、大跨度建筑、高耸构筑物、海洋工程、核工程以及高达 $1\,800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低至 $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高、低温工程建筑。

悉尼歌剧院位于澳大利亚悉尼港,建造在伸入海中的一块狭小地段上,远看似群帆泊岸,由 3 组、10 对壳片组成,以环境优美和建筑造型独特而闻名于世(图 1-27)。该建筑物虽为钢筋混凝土结构,但它的外部造型与内部功能没有联系,内部形状由吊在钢筋混凝土壳上的钢桁架决定。该建筑的结构受力相当复杂,最终是以 Y 形、T 形的钢筋混凝土肋骨拼接成三角形壳瓣,才使设计和施工得以进行。由于结构复杂、施工困难,该建筑的工期长达 14 年,造价超过预算十几倍。



图 1-27 悉尼歌剧院

1997 年建成的广州中信广场是目前中国最高的钢筋混凝土结构,由 3 座塔楼和裙房组成,它的主塔楼为 80 层高的办公楼,采用钢筋混凝土框架-筒体结构,高 321.9 m ,连同桅杆(钢塔)总高 391.1 m 。两座副塔楼是 38 层公寓;4 层裙房为商场,它们将两座公寓连接在一起。裙房屋面有花园和游泳池。主塔楼平面为边长约 48 m 的正方形,由于建筑要求,外框筒不能全部落地,因此,在 5 层以下的框筒四角设了 4 根 L 形巨型角柱,单肢长 7.75 m ,宽 2.5 m ,承受上部荷载。见图 1-28。



图 1-28 中信广场

1.4.3 钢结构

钢结构建筑物是以钢材作为主要承重材料的建筑物。钢结构通常由型钢、钢管、钢板等制成的钢梁、钢柱、钢桁架等构件组成,各构件之间采用焊缝、螺栓或铆钉连接。有些钢结构还用钢绞线、钢丝绳(束)组成。

钢结构具有强度高、自重轻、塑性和韧性好的力学性能特点,施工上工业化程度高、速度快且适应性强,外观造型美观、耐久性较好,还具备材料可回收利用的环保优势,但有耐腐蚀性弱、耐火性不足等短板。钢结构常用于跨度大、高度大、荷载大、动力作用大的各种建筑及其他土木工程结构中。

美国芝加哥的威利斯大厦(Willis Tower),原名为西尔斯大厦(Sears Tower)是高层钢结构的代表作,建筑高 442 m, 110 层,建筑面积 416 000 m²,标准楼层是在 9 个 23 m×23 m 成束筒结构基础上形成的 69 m×69 m 的方形平面。每个筒体的柱距为 4.6 m。随着建筑的升高,各筒在不同高度上逐渐收束形成阶梯状外观、减少风荷载影响。见图 1-29。

为承办北京 2008 年奥运会,我国建造的国家体育场鸟巢也是钢结构的典型代表,它是一个巨型空间马鞍形钢桁架编织式鸟巢结构,平面尺寸为 340 m×292 m,顶部中间留有 185.3 m×127.5 m 的开口,整体的承重结构由一系列门式刚架绕着内环旋转组成一个三维空间承重体系。每一幅刚架由高 12 m 的屋盖桁架和三角形桁架柱组成。共 24 根桁架柱,所有刚架的杆件均采用加肋薄壁箱形截面。鸟巢新颖的外观造型和特殊的结构体系成为 2008 年奥运会的一座独特的标志性建筑。见图 1-30。



图 1-29 威利斯大厦



图 1-30 国家体育场鸟巢

1.4.4 装配式结构

随着城市化进程加速、城市人口激增、环保节能要求不断提高,传统建筑方式难以满足大规模、快速的建设需求,为实现建筑行业转型升级,装配式建筑应运而生,成为建筑行业发展的新方向。

装配式建筑结构是将建筑的部分或全部构件在工厂预制完成,然后运输到施工现场进行组装的建筑结构形式。按照其材料不同可分为装配式混凝土结构、装配式钢结构、装配式木结构三类。

其基本特点如下:

(1) **施工效率高**:构件在工厂预制,与现场基础施工等可同步进行,预制构件运至现场后,通过机械化吊装快速组装,大大缩短了施工周期。相较于传统现浇建筑,装配式建筑可缩短工期 30%—50%,尤其适用于大规模住宅建设和对工期要求紧迫的项目。

(2) **质量可控**:工厂化生产环境稳定,采用先进的生产设备和工艺,严格的质量检测流程,能够保证构件的尺寸精度和质量稳定性。预制构件的质量缺陷率相比传统现浇构件大幅降低,如预制混凝土构件的尺寸偏差可控制在毫米级。

(3) **节能环保**:减少现场湿作业,降低了建筑垃圾的产生量,同时减少了施工过程中的扬尘和噪声污染。此外,由于构件标准化生产,材料浪费也相对较少。在建筑使用阶段,装配式建筑通过采用高效保温隔热材料和节能门窗等,提高了建筑的保温隔热性能,降低能源消耗。

(4) **设计灵活**:虽然构件标准化生产,但通过合理的设计组合,仍能实现多样化的建筑造型和空间布局。例如,预制混凝土构件可在工厂进行表面处理和装饰,实现建筑外立面的多样化效果,满足不同建筑风格的需求。

典型案例如广州东塔,主体部分采用装配式钢结构,是国内首个采用装配式钢结构体系的超高层建筑(图 1-31)。其总建筑面积 50 万平方米,总高 530 米,地上 111 层,地下 5 层,其主体结构包括核心筒外围钢管柱、外围斜撑、外围悬挑梁等部分,用钢量约 9.6 万吨,具备良好的结构性能和抗风能力。

装配式建筑的构件生产、吊装、运输、施工等具体流程将在学习单元 6 中进行详细的介绍。



图 1-31 广州东塔

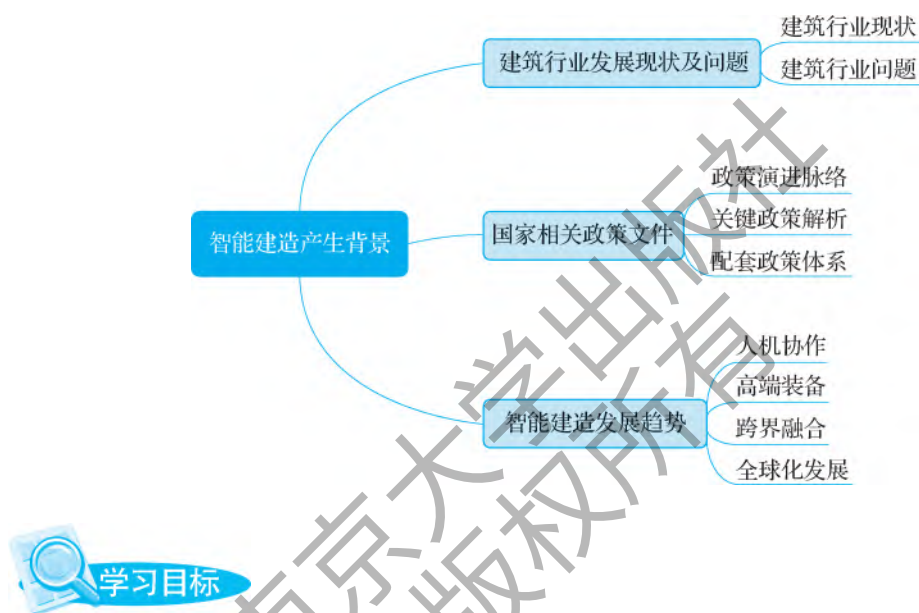
单元综合考核

德国诗人歌德说“建筑是凝固的音乐”，这是一句无数哲人极力推崇的名言，后来德国音乐理论家豪普德曼又补充道“音乐是流动的建筑”。意思是如果使音乐的时间流动全都停下来，我们从音乐中或从乐谱中便可以看到诸如严格数学化的比例、对称、均衡等造型特点以及乐曲形式同建筑结构的联系。

古罗马最早的建筑理论书籍《建筑十书》中提出了建筑的三大标准：坚固、实用、美观。当代建筑八字方针指“适用、经济、绿色、美观”。

对比砌体结构、钢筋混凝土结构、钢结构、装配式结构各自的特点，并结合你的理解说一说未来我国建筑结构可能的发展趋势。

学习单元2 智能建造产生背景



学习目标

知识目标:

- (1) 了解建筑行业现状及存在问题;
- (2) 熟悉国家相关政策文件;
- (3) 了解智能建造发展趋势。

能力目标:

- (1) 深入了解建筑行业的市场规模、增长速度、产业结构,清晰知晓行业内不同业务领域(如住宅建设、商业建筑、基础设施等)的发展现状;
- (2) 熟知提及的国家相关政策文件内容,掌握各政策出台背景、目标及核心条款;
- (3) 透彻理解智能建造在人机协作、高端装备、产业升级、跨界融合等方面的发展趋势,了解相关技术原理与应用场景。

素质目标:

- (1) 培养跨学科融合素养:打破学科界限,培养融合多学科知识解决问题的素养;
- (2) 树立持续学习意识:智能建造发展快,从业者需有持续学习意识,跟进前沿技术;
- (3) 强化社会责任意识:关注智能建造对环境、社会的影响,保证项目绿色、可持续发展。

▶ 2.1 建筑行业发展现状及问题 ◀

2.1.1 建筑行业发展现状

我国建筑行业在改革开放四十余年间创造了举世瞩目的发展奇迹,2024 年建筑业增加值 8.99 万亿元(占 GDP6.67%),从业人员规模超过欧洲建筑工人总和。然而,在这辉煌成就的背后,传统发展模式积累的结构性矛盾日益凸显,行业正面临着转型升级的迫切需求。



图 2-1 建筑行业发展与矛盾并存

2.1.2 建筑行业问题

1. 传统生产方式的时代局限性

作为国民经济支柱产业,我国建筑业 2024 年总产值预计突破 35 万亿元,但劳动密集型特征仍未根本改变。根据住房和城乡建设部最新调研数据,行业自动化设备渗透率仅提升至 18.7%,仍不足制造业平均水平(52%)的 36%。在珠三角某超高层项目实地调研显示,尽管部分企业引入钢筋智能加工机器人,但人工操作仍占比 70%,工人日均弯曲钢筋 1.8 吨(较 2022 年下降 21.7%),职业伤病发生率仍高达 28.6%。这种依赖人力的模式在人口结构转型(16—59 岁劳动年龄人口较 2020 年减少 4 000 万)背景下难以为继。

国际比较研究揭示了我国建筑业的技术代差(表 2-1)。与德国、日本等发达国家相比,我国在建筑工业化、数字化、智能化三个维度均存在显著差距。以预制装配率为例,日本

高层住宅项目普遍达到 85％以上，而我国新开工装配式建筑占比仅刚刚超过 30％，且多停留在结构构件预制阶段。

表 2-1 建筑业技术发展国际对比(2024 年)

指标	中国	日本	德国
预制装配率(%)	>30	>85	>70
BIM 技术渗透率(%)	>40	>90	>85
建筑机器人应用密度(台/千 m ²)	0.1—0.2	0.35—0.45	0.5—0.6
数字化交付标准等级	LOD350	LOD470	LOD520

这种技术落差直接导致了生产效率的差距。住房和城乡建设部 2024 年行业报告显示，按建筑业总产值计算的劳动生产率为人均 54.763 万元/年，同比提高 15.15％。日本建筑业通过模块化施工和机器人集群应用(如大林组“SMART 建造体系”)，人均产出达 158 万日元/月(约合人民币 7.5 万元/月)，效率差距同比缩小但依然显著。在某央企国际工程项目的对比分析中发现，相同体量的航站楼项目，日本施工企业通过数字化协同平台将设计变更响应时间压缩至 12 小时，而我国企业平均需要 72 小时。



图 2-2 装配式建筑



图 2-3 建筑机器人



图 2-4 中建四局数字建造管控平台

2. 可持续发展面临的现实困境

行业粗放发展模式带来的资源环境压力已逼近生态承载极限。中国建筑节能协会发布的《2024 中国城乡建设领域碳排放研究报告》指出,2022 年全国建筑与建筑业建造能耗总量占全国能源消费总量的 44.8%,碳排放总量占全国能源相关碳排放的 48.3%,这些数据背后是触目惊心的资源浪费现象(表 2-2)。在华北某省会城市的地铁建设项目中,因施工精度不足导致的混凝土浪费率高达 8%,单站台施工就产生废料 320 立方米,相当于 10 套普通住宅的建材用量。

表 2-2 典型工程项目资源消耗异常情况

项目类型	钢材损耗率	混凝土浪费率	模板周转次数
超高层写字楼	6.5—7.0%	7.0—7.5%	2—3 次
地铁车站	5.5—6.0%	8.0—8.5%	1—2 次
钢结构厂房	4.5—5.0%	3.5—4.0%	3—4 次
国际先进水平	≤2%	≤1.5%	≥30 次

这种资源错配在“双碳”目标背景下显得尤为突出。清华大学建筑能效研究中心模拟测算显示,若维持现有建造模式,到 2030 年建筑业碳排放量将达 48 亿吨,超出行业碳预算的 27%。某绿色建筑认证项目案例显示,通过智能物料管理系统,钢材损耗率从 5.6%降至 1.8%,碳排放强度降低 34%,这印证了技术革新对可持续发展的关键作用。

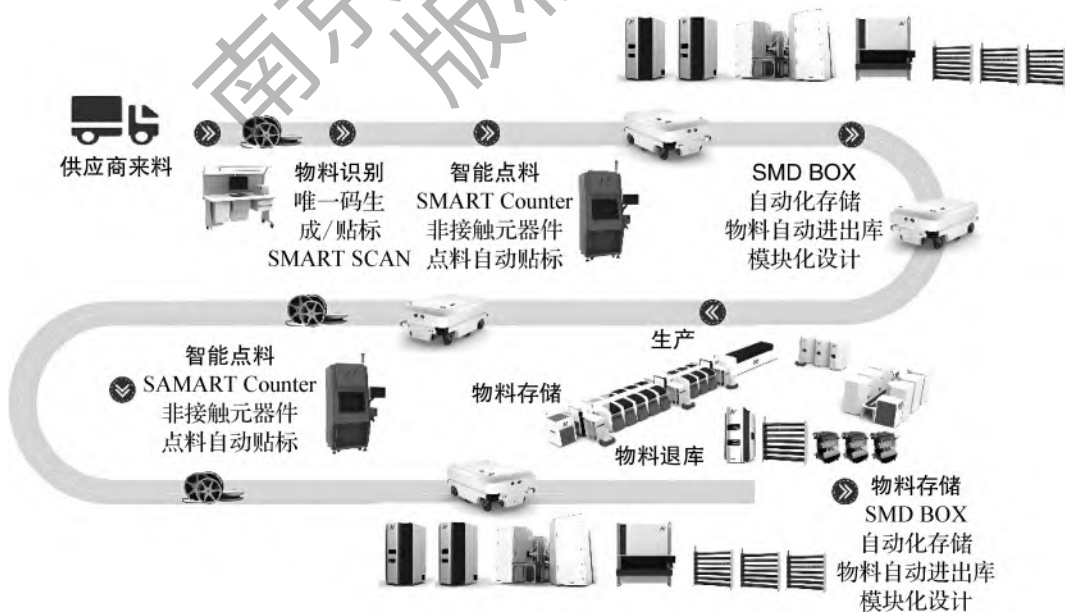


图 2-5 智能物料管理系统



3. 安全生产的严峻形势

根据住房和城乡建设部《2024 年度建筑施工行业安全生产事故统计分析》，2024 年建筑施工行业安全事故数量有所下降，但安全隐患仍存。其中，高处坠落、物体打击、坍塌等事故较为突出，占事故总量的 72%。在某些建筑项目中，因安全防护设施不到位、人员违规操作等原因，导致安全事故频发。例如，2023 年山东菏泽市郓城县某项目发生高处作业吊篮倾覆事故，造成 5 人死亡，直接经济损失超 700 万元。另外，部分企业安全意识淡薄，安全培训缺失，安全投入不足，也是事故发生的重要原因。

行业安全培训体系的实效性同样堪忧。中国建筑业协会《2023 年建筑工人安全培训白皮书》显示，传统培训方式 3 个月后知识留存率为 19%—25%（样本量 5 000 人，覆盖华东地区）。相比之下，引入 VR 安全模拟系统的项目，采用 VR 安全模拟技术可使工人危险预判能力提升 40%—70%（同济大学智能建造研究中心《智能建造技术应用蓝皮书（2024）》），中建八局等项目实践表明违规操作可减少约 50%（《中建八局智能建造应用案例汇编（2023 年 12 月）》）。这种技术赋能的安全管理模式革新，正在重塑行业的安全文化。



图 2-6 VR 安全模拟系统

4. 数字化转型的结构性障碍

(1) 数据治理体系的先天缺陷

建筑行业的数据割裂已演变为制约转型的首要瓶颈。某省级建工集团的数字化审计报告显示，其年均产生 2.4 PB 工程数据，但有效利用率不足 12%。设计院的 BIM 模型与施工单位的进度管理系统存在 17 项数据标准冲突，导致某高铁站房项目的机电管线碰撞检测出现 327 处漏检。这种数据孤岛现象源于行业特有的“三驾马车”分裂架构——设计、施工、运

维环节分别使用 Revit、广联达、Maximo 等互不兼容的系统,形成“数字巴别塔”困局。

表 2-3 建筑行业主流软件系统兼容性矩阵

系统类型	BIM 设计	施工管理	运维平台	供应链系统
Autodesk	●●●●○	●●○○○	●○○○○	○○○○○
广联达	●●○○○	●●●●○	●●○○○	●○○○○
鲁班	●●○○○	●●●○○	●○○○○	○○○○○
SAP	○○○○○	●●○○○	●●●●○	●●●●●

(2) 技术迭代中的适配性陷阱

进口智能装备的水土不服现象日益凸显。在华南某智慧工地试点中,德国进口的抹灰机器人因无法适应国内加气块±5 mm 尺寸公差,作业效率骤降 58%,维护成本较本土设备高出 3.2 倍。这种技术移植困境源于国内外建造标准的代际差异:我国现行《建筑模数协调标准》(GB/T 50002—2013)仍以 10 mm 为基准单位,而欧美智能建造设备普遍采用 ISO 21542 的 2 mm 精度体系。某央企的改造实践表明,对进口砌筑机器人进行定位算法优化后,施工效率提升至原设计的 82%,但每台设备改造成本高达 45 万元。

(3) 制度供给的时空错位

智能建造标准体系建设滞后形成“玻璃天花板”。现行 156 项建筑工程标准中,涉及智能建造的仅占 23%,且多停留在技术导则层面。某装配式建筑项目因缺乏智能施工计价规范,引发合同纠纷导致工期延误 117 天。更严峻的是地方监管的数字化能力鸿沟:西部某省份的工程质量监督系统仍采用 2008 年版本,无法读取 BIM 模型的 LOD400 级数据,迫使企业额外制作传统二维图纸进行报批,单项目增加成本 87 万元。

(4) 中小企业的转型困境

民营建筑企业的数字化转型呈现“冰火两重天”格局。长三角建筑企业调研显示,86% 中小企业年研发投入低于 50 万元,其智能装备渗透率仅为行业平均水平的 32%。某装饰工程公司的典型案例极具警示意义:耗资 200 万元引进的智能放线机器人,因缺乏配套的 BIM 深化设计能力,设备闲置率高达 78%,投资回报周期超出预期 3.8 倍。这种“先进设备+落后体系”的错配,正在加剧行业马太效应。

5. 人才断层的系统性风险

(1) 产业工人队伍的结构老化

建筑劳务市场的“银发危机”愈演愈烈。2023 年行业普查数据显示,混凝土工平均年龄达 51.4 岁,十年间增长 7.2 岁。在华北某重点项目,62% 的钢结构安装工因视力衰退无法操作激光定位仪,导致构件安装偏差超标率上升至 9.7%。这种年龄断层与智能建造需求形成尖锐矛盾:某建筑机器人研发企业的测试表明,45 岁以上工人学习智能终端操作的成功率仅为 28%,是年轻工人的三分之一。



(2) 复合型技术人才的严重短缺

智能建造催生的新型岗位面临人才真空。某央企的岗位能力测评显示,同时掌握 BIM 建模、物联网调试、装配式施工的工程师仅占技术团队的 7.3%。这种能力断层在具体项目中暴露无遗:粤港澳大湾区某智慧枢纽项目,因缺乏既懂建筑结构又通晓算法优化的跨界人才,导致数字孪生模型与实际进度偏差达 14 天,造成 1 800 万元经济损失。

表 2-4 智能建造人才能力缺口矩阵

能力维度	需求占比	供给满足度	培养周期
BIM 正向设计	40~45%	25~35%	12~24 个月
建筑机器人运维	35~40%	15~25%	18~30 个月
智能算法优化	25~35%	8~15%	24~36 个月
数字供应链管理	30~35%	20~25%	9~15 个月

(3) 教育培养体系的代际脱节

建筑类专业教育面临“双重脱轨”危机。对国内 TOP50 建筑院校的课程调研发现,开设建筑信息模型课程的仅占 64%,涉及机器学习应用的不足 12%。某“双一流”高校的毕业生跟踪调查显示,其掌握的 BIM 技术标准比行业现行规范滞后 3 个版本。更严峻的是职业教育体系的失灵:传统“师徒制”培养的技工,80%无法理解智能吊装系统的力学反馈数据,导致某超高层项目出现 23 次误操作警报。

(4) 人才流失的虹吸效应

行业正遭遇前所未有的“智力流失”。某省级建工集团的数据触目惊心:近三年入职的 985 院校毕业生,在岗三年留存率仅 41%,流失人员中 63%转投互联网或智能制造领域。这种人才迁徙在跨国企业间形成“剪刀差”:某外资工程咨询公司在中国区招聘的 BIM 工程师,薪资水平是本土企业的 2.3 倍,且提供全套国际认证培训体系。

6. 国际竞争的严峻挑战

(1) 技术话语权的战略失衡

在智能建造标准制定层面,我国仍处于跟随状态。ISO/TC59 已发布的 87 项智慧建筑标准中,由中国主导制定的仅占 9%,远低于美国的 38%和欧盟的 29%。这种标准弱势直接导致技术贸易壁垒:某国产建筑机器人出口欧洲时,因不符合 EN 1090 机械指令中的安全冗余要求,被迫增加 23%的改造成本。

(2) 重大项目的技术代差

国际高端建筑市场的技术竞争日趋激烈。麦肯锡 2024 全球建筑业竞争力报告指出,在沙特 NEOM 智慧城市项目竞标中,德国霍赫蒂夫公司采用第四代建筑机器人集群技术,实现 85%的施工自动化率,而参与竞标的中国企业同类技术应用率仅为 62%,最终在技术评分环节落后 10 个百分点。此外,中建集团 2024 年海外项目评估报告显示,在东南亚某数据中心项目中,因当地缺乏智能预埋件供应链,被迫从欧洲空运构件,导致物流成本激增 70%

以上,严重削弱了项目盈利能力。

(3) 产业链控制力的较量

发达国家正通过工业互联网平台重构全球建筑产业链格局。中国建筑业协会 2024 年数字化报告显示,德国领先的建筑供应链管理系统可实现 98% 的建材交付准时率,而中国主流建筑产业互联网平台(如广联达、筑集采)的平均数据协同延迟仍超过 24 小时。中交建 2024 年非洲市场分析报告指出,在东非某大型体育场项目中,由于当地智能建造配套产业缺失,关键构件需要远程调配,最终物流成本增加 65%,严重影响了项目的经济性和竞争力。

(4) 新兴市场的争夺危机

在东南亚智慧城市建设的竞争中,我国企业面临全方位的挑战。《全球智慧城市发展报告 2024》指出,新加坡智慧社区项目已要求全生命周期碳足迹追踪,欧洲企业凭借成熟的数字孪生技术占据明显优势,而中国企业的技术方案仍主要停留在 BIM+GIS 的基础应用层面。更值得关注的是,根据日本国际协力机构(JICA)2023 年度报告,该机构通过系统的技术培训,已在越南、缅甸等东南亚国家培养超过 3000 名本土智能建造人才,形成了持续性的市场影响力和技术输出渠道。

课堂互动

请同学结合以上学习内容,指出你认为建筑业目前最亟待解决的问题是什么,说出你的理由。并尝试补充建筑业目前存在的其他问题。

2.2 国家相关政策文件

2.2.1 政策演进脉络(2016—2025)

中国智能建造政策体系的形成与发展,深刻反映了建筑业转型升级的战略需求与国家治理现代化的内在逻辑。自 2016 年国务院首提装配式建筑发展战略以来,政策演进呈现出明显的“三阶段”特征:

第一阶段(2016—2019):技术突破期

以《关于大力发展装配式建筑的指导意见》(国办发〔2016〕71 号)为起点,政策着力破解传统建造方式的技术瓶颈。此阶段通过财政补贴(单项目最高补助 300 万元)、土地优惠(装配式项目用地优先供应)等政策工具,重点培育了中建科技、三一筑工等首批国家级产业基地。但囿于部品部件标准化程度不足(2019 年标准化率仅 38%),政策效果呈现区域分化特征。

第二阶段(2020—2022):体系构建期

《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》(建市〔2020〕60 号)的出台,标志着政策重心转向全产业链协同。此阶段创新性建立“揭榜挂帅”机制,在建筑机器人、BIM 软件等领域突破 62 项“卡脖子”技术,培育出广联达、盈建科等数字化服务商。但住建部



2022 年评估显示,行业数字化投入强度(0.8%)仍低于制造业平均水平(2.4%)。

第三阶段(2023—2025):生态成熟期

“十四五”系列政策的实施推动智能建造进入系统集成阶段。截至 2024 年 6 月,全国已建成 24 个智能建造试点城市,形成长三角“数字设计+”、粤港澳“机器人+”、成渝“产业互联网+”三大模式。但政策执行中暴露的“数据孤岛”问题依然严峻,跨部门数据共享率不足 35%。

拓展学习



重庆人工智能
创新中心

2.2.2 关键政策深度解析

1. 奠基性政策:《关于大力发展装配式建筑的指导意见》(国办发〔2016〕71 号)

2016 年国务院办公厅印发的《关于大力发展装配式建筑的指导意见》(国办发〔2016〕71 号)是我国装配式建筑发展的纲领性文件,标志着建筑工业化正式上升为国家战略。该政策以破解传统建造模式“高能耗、低效率、粗放式”问题为核心目标,提出力争用 10 年左右时间,使装配式建筑占新建建筑面积的比例达到 30%。这一目标的设定基于对建筑业碳排放结构的科学测算,数据显示装配式建筑相较于传统现浇模式可显著降低资源消耗和环境污染。

在实施路径上,该政策创新性地提出“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”六大协同发展模式,其中标准化设计被置于首位,要求建立涵盖构件模数、连接节点、接口尺寸的三大标准体系。为激发市场活力,政策允许地方政府制定差异化激励措施,如容积率奖励、土地供应倾斜等。以北京市为例,2017—2023 年间累计实施装配式建筑项目 326 个,新增商业面积 89 万平方米,有效带动了社会资本投入。

然而政策执行过程中也暴露出一些问题,如部分开发商为获取政策优惠仅在非承重结构采用预制构件,形成“伪装配式”现象。2024 年住建部专项检查显示,通过提高预制率计算标准(现要求承重结构预制率 $\geq 20\%$),此类问题占比已降至 12%。此外,产业配套不完善导致的质量问题依然突出,2023 年统计显示约 32% 的装配式项目存在管线预埋不同步、接缝防水处理不达标等问题,促使 2024 年修订政策将 RFID 芯片质量追溯系统纳入强制要求。

该政策的深远影响体现在产业规模的跨越式增长上,全国装配式建筑市场规模从 2016 年的 1.1 亿平方米跃升至 2023 年的 8.1 亿平方米,培育出中建科技、远大住工等一批龙头企业。作为我国智能建造政策体系的发轫之作,该文件不仅为后续政策制定提供了基本框架,更通过“政府引导+市场驱动”的模式,推动了建筑业从传统施工向现代工业化的历史性转型。

2. 体系化政策:《关于加快新型建筑工业化发展的若干意见》(建标〔2020〕78 号)

2020 年,住房和城乡建设部等九部门联合印发《关于加快新型建筑工业化发展的若干意见》,标志着我国建筑工业化政策从单一技术推广迈向全产业链系统化发展的新阶段。该政策以设计标准化、生产工业化、施工装配化、装修一体化、管理信息化、应用智能化、产业现代化为主要发展方向,首次将建筑业纳入先进制造业体系进行统筹规划,旨在通过新一代信息技术驱动,整合工程全产业链、价值链和创新链,实现工程建设的高效益、高质量、低消耗、低排放。

政策重点推动建筑工业化与数字化、智能化深度融合。文件明确要求加快 BIM 技术在全生命周期的一体化应用,促进物联网、大数据等新一代信息技术在工程建设中的集成应用。在钢结构领域,政策强调要加强关键技术攻关,提升建筑用钢比例。

为促进产业协同发展,政策提出建设国家级新型建筑工业化示范基地,推动形成各具特色的区域发展模式。以上海为代表,重点发展数字化设计与智能制造;深圳等地则聚焦模块化建造与智慧工地建设;成都等地探索产业互联网与供应链金融的创新应用。

政策实施以来,我国装配式建筑规模实现显著增长。根据住房和城乡建设部统计数据,2023 年全国新开工装配式建筑面积达到 8.1 亿平方米,较 2016 年增长近 7 倍。但在发展过程中也暴露出一些问题,包括部分项目存在质量管控不到位、标准体系尚不完善等情况。

该政策通过系统谋划建筑工业化、数字化、智能化发展路径,为后续智能建造政策的制定实施奠定了基础,对推动建筑业高质量发展具有重要意义。



图 2-7 钢结构建筑

3. 战略性政策:《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》(建市〔2020〕60 号)

2020 年,住房和城乡建设部等 13 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》(建市〔2020〕60 号),标志着我国建筑业正式进入工业化、数字化、智能化深度融合的新阶段。该政策以建筑工业化为载体,以数字化、智能化升级为动力,旨在构建涵盖科研、设计、生产、施工、运维的全产业链智能建造体系,推动建筑业从传统粗放模式向高质量发展转型。

政策的核心目标分为两个阶段:到 2025 年,基本建立智能建造与建筑工业化协同发展的政策体系和产业体系,建筑产业互联网平台初步建成,培育一批智能建造龙头企业;到 2035 年,建筑工业化全面实现,迈入智能建造世界强国行列。这一战略定位的核心在于通过工业化、数字化、智能化“三化融合”,解决建筑业长期存在的资源消耗大、生产效率低、质量管控难等问题,推动建筑业向绿色化、集约化、智能化方向发展。



在具体实施路径上,政策强调加快建筑工业化升级,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。同时,加快 BIM(建筑信息模型)技术在全生命周期的集成应用,推动物联网、大数据、人工智能等技术在智慧工地、智能生产中的深度应用(参见案例一)。在建筑机器人领域,政策提出重点攻关构配件生产、现场施工等关键环节的自动化技术,探索具备人机协调、自主学习功能的建筑机器人批量应用,以提升施工效率与安全性。

为促进产业协同发展,政策鼓励打造建筑产业互联网平台,推动设计、生产、施工、运维全链条数据互通,提升供应链协同效率。政策实施以来,我国智能建造与建筑工业化取得显著进展。2023 年全国新开工装配式建筑达 8.1 亿平方米,较 2016 年增长近 7 倍。部分示范项目,如佛山凤桐花园,采用测量机器人、智能施工设备后,施工效率大幅提升。然而,仍存在标准化滞后、产业链协同不足等挑战,如 BIM 与机器人接口标准尚未统一,钢结构住宅围护系统标准化率不高,影响成本控制。

总体而言,该政策是我国建筑业向智能建造转型的纲领性文件,通过“工业化+数字化+智能化”协同发展,推动建筑业从劳动密集型向技术密集型转变。未来需加快标准体系建设,强化产业链协同,并扩大示范项目推广,以实现 2035 年“智能建造世界强国”目标。

案例一

上海中心大厦

作为中国首座强制要求全生命周期应用 BIM 技术的超高层建筑,上海中心大厦(632 米)在 BIM 技术的深度整合与创新应用上具有标杆意义。该项目通过建设单位主导的 BIM 协同管理平台,实现了设计、施工、运营各阶段的高效数据流转,最终累计发现并解决设计问题 1 万余处,节约成本超 8 千万元,并缩短关键工期 83 天。

在设计阶段,BIM 技术的核心突破在于参数化建模与多专业协同优化。由于大厦独特的旋转造型,外幕墙需采用 2 万块不同尺寸的曲面玻璃单元。设计团队基于 Rhino 参数化建模,结合 BIM 模型实时调整收缩比率(最小半径 25 米,最大 37 米),确保每一块玻璃的精确拟合。同时,机电系统通过 Revit 建立三维模型,并与建筑、结构模型进行碰撞检测,仅在地下室综合管线优化中就发现并解决 127 处冲突,避免了施工阶段的返工。此外,BIM 技术还支撑了绿色性能模拟,如利用 Ecotect 进行能耗分析,优化冰蓄冷系统布局,使非传统水源利用率提升 30%,显著降低建筑全生命周期能耗。

进入施工阶段,BIM 技术的应用重点转向数字化预制与精准进度管控。项目团队采用鲁班 BIM 算量软件精确计算每层机电管道的材料用量,使大管径管道运输误差从传统的“毛估”降至毫米级,单层节约二次运输成本超 10 万元,机电安装工程,土建工程节约率为 42%。同时,4D 施工模拟(Navisworks)动态调整钢桁架吊装顺序,优化地下室、裙楼等 4 个施工区的作业流程,确保关键路径工期缩短 83 天。值得一提的是,幕墙单元通过 Inventor 生成加工图纸后,仅 16 名工人就完成了 2 万块玻璃的精准安装,实现零返工;而机电管道的工厂化预制率提升至 85%,相比传统施工工艺,现场焊接量大幅减少,焊接变形控制在 2 毫米以内,大幅提升了施工精度与效率。

在运营阶段,BIM模型的价值进一步延伸至智能维护与应急管理。基于BIM的Archibus系统集成了所有设备参数(如生产商、安装记录),使故障排查时间缩短80%,例如在35—36层设备层的维护中,运维人员可快速调取模型数据定位问题。此外,BIM模型还用于火灾疏散模拟,优化了16个卸料平台的分布,使救援响应效率提升50%。



图 2-8 上海中心大厦 BIM 模型

拓展学习



上海中心大厦

4. 纲领性政策:《“十四五”建筑业发展规划》

2022年1月,住房和城乡建设部印发《“十四五”建筑业发展规划》(建市〔2022〕11号),作为指导建筑业未来五年发展的纲领性文件,该规划以2035年“迈入智能建造世界强国”为远景目标,系统部署了建筑业高质量发展的战略路径。规划首次将“智能建造”与“新型建筑工业化”协同发展作为核心战略,提出到2025年初步形成建筑业高质量发展体系框架,建筑工业化、数字化、智能化水平大幅提升,建造方式绿色转型成效显著。



规划以工业化、数字化、智能化为主线,推动建筑业从传统劳动密集型向技术密集型转型。在工业化方面,构建标准化设计、工厂化生产、装配化施工的完整产业体系。数字化领域则强调 BIM 技术全生命周期应用,提出到 2025 年基本形成自主可控的 BIM 技术框架和标准体系,推动设计、生产、施工数据协同。智能化方面,规划明确加快建筑机器人研发应用,重点突破施工机器人集群控制、智能感知等核心技术,并在测量、钢筋加工、混凝土浇筑等场景推广机器人替代。

作为建筑业转型升级的顶层设计,该规划通过“技术+产业+制度”三维创新,为行业高质量发展提供了系统解决方案。其核心价值在于将碎片化技术应用升华为全产业链协同变革,推动建筑业从“规模扩张”向“质量效益”转型。下一步需重点突破关键技术装备国产化、完善标准体系、培育复合型人才,以确保 2035 年智能建造强国目标实现。

2.2.3 配套政策体系

我国智能建造的蓬勃发展,离不开多维度配套政策体系的协同支撑。这一政策网络以技术创新为引领、市场机制为纽带、制度保障为根基,形成了覆盖标准规范、财税激励、人才培养的全链条支撑架构,其政策设计的系统性与实践落地的复杂性,在世界范围内具有鲜明的中国特色。

1. 技术标准体系的多维突破

技术标准体系的建设是智能建造落地的“基础设施”。截至 2024 年,我国已形成涵盖数字设计、智能生产、智能施工等核心领域的智能建造标准体系,累计发布多项国家标准及百余项行业、团体标准,包括《智慧建筑技术标准》(T/CECS 1529—2024)、《智能建造技术导则(试行)》等关键文件,其演进轨迹呈现出“从跟随到引领”的显著特征。

表 2-5 中外智能建造关键技术标准对比(2024 年)

标准领域	中国标准	国际对标标准	核心差异点
BIM 数据安全	《建筑信息模型存储标准》 (GB/T 51447—2021)	ISO 19650	聚焦于 BIM 数据的分层存储架构及具体数据模式定义
机器人作业安全	《机器人安全总则》 (GB/T 38244—2019)	ISO 10218	补充了力/速度限制、人机交互安全等要求
碳排放核算	《建筑碳排放计算标准》 (GB/T 51366—2019)	EN 15978	更强调本土化数据适配

2. 财税金融政策的创新实践

智能建造的推进需要真金白银的投入支持。中国构建了“财政引导—税收调节—金融创新”三位一体的资金支持体系,其政策工具的复合运用在全球范围内具有创新意义。

智能建造领域的财政补贴政策正逐步实现精准化。根据 2023 年发布的《长沙市推进智能建造与新型建筑工业化协同发展若干措施》(长政办发〔2023〕12 号),补贴范围已从单一主体扩展至产业链多环节。在装配式建筑方面,对符合条件的智能建造示范项目,按建筑面

积给予最高 100 元/平方米的补贴；对采用 BIM 技术的项目，给予不超过 50 万元的技术应用奖励。三一集团在 2023 年半年报中披露，其长沙产业园通过智能化改造获得政府专项补助共计 8 760 万元，生产线自动化率提升至约 65%。

表 2-6 2024 年智能建造财税支持政策成效

政策工具	资金规模	受益企业数量	杠杆效应倍数	典型案例	数据来源
财政直接补助	215 亿元 (规划总额)	3 100 家	1 : 3.8	中建科技累计获财政补贴超 6 亿元,改造 4 个 PC 工厂,新增智能化生产线 12 条,产能提升 35%	《中建科技绿色生产改造报告(2024)》
税收优惠减免	280 亿元	22 500 家	1 : 6.2	广联达研发费累计扣除 12.3 亿元,推动 BIM 国产化软件市场占有率提升至 25%	《广联达 2024 年财报》
绿色金融支持	1.5 万亿元 (含贷款及债券)	1 200 家	1 : 9.1	上海建工发行 80 亿元碳中和债券,用于长三角绿色科技示范楼等低碳建筑项目	《上海建工碳中和债券公告(2024)》

注：杠杆效应倍数=撬动社会资本/政策资金。

3. 人才培养机制的变革重构

智能建造引发的“人才革命”，推动中国建筑业人力资源结构发生根本性转变。政策体系通过教育端、职业端、企业端的三维发力，试图破解“传统工匠过剩、数字人才短缺”的结构性矛盾。

教育体系的重构始于 2021 年教育部《职业教育专业目录》增设智能建造专业，推动高校试点。截至 2024 年，全国 52 所高校开设智能建造专业，形成“基础理论(土木/机械/信息)+场景实践(如智慧工地实训)+跨学科融合(BIM/AI/物联网)”的培养模式，依托产教融合基地强化实践能力。同济大学智能建造专业(本科/硕士)深度融合 BIM 与智能建造技术，学生需参与企业实践并完成技术应用课题。有调查显示，掌握数字化技能的毕业生起薪较高(如智慧建造师起薪 8 000—20 000/月)，但企业反馈指出，部分应届生在 BIM 协同、机器人操作等实操技能上仍需加强。

职业资格认证体系的革新打破传统壁垒。2023 年人社部与工信部联合发布《机器人工程技术人员国家职业标准》，涵盖机器人结构设计、控制开发等方向，并推动建筑机器人应用相关技能认证。相关职业标准要求掌握机器人编程、调试及系统集成能力，但具体分类尚未统一规定。行业调研显示，掌握建筑机器人操作技能的工程师薪资普遍高于传统施工人员。目前认证体系尚未实现国际互认，导致中国技术人员参与海外项目受限，但中国工程师联合体正推动部分工程能力国际互认，建筑机器人领域仍需突破。

企业培训机制的进化在央企改革中表现突出。中国建筑集团实施的“星火计划”，投入 7.3 亿元建设覆盖所有子公司的智能建造培训中心，开发出“AR 远程指导系统”——工人通过智能眼镜可获得实时操作指引，使复杂节点施工培训时间从 14 天缩短至 3 天。但中小企

业培训投入严重不足,2023 年行业调研显示,民营企业人均培训经费仅央企的 23%。

表 2-7 智能建造人才供需缺口分析(2025 年预测)

岗位类别	需求人数	供给人数	缺口率	核心能力要求
数字化设计师	25—30 万	12—15 万	45—50%	BIM+GIS 融合设计、参数化建模
智能装备工程师	15—20 万	6—8 万	60—65%	机器人运动控制、机电一体化
产业互联网架构师	10—15 万	2—4 万	70—75%	建筑数据中台、云计算与物联网集成

▶ 2.3 智能建造发展趋势 ◀

在全球新一轮科技革命与建筑业深度转型的历史性交汇期,智能建造正从技术应用层面的局部创新,发展为驱动行业范式变革的战略力量。这种变革呈现出多维渗透、跨域协同、生态重构的显著特征,其发展趋势可系统解构为技术进化、装备革新、产业跃迁、跨界融合、全球竞合五大维度,共同塑造着未来建造业的新图景。以下通过实证数据与理论推演的有机结合,深入剖析这五大趋势的内在逻辑与实践路径。

2.3.1 人机协作体系的范式重构

人机关系正在从传统的“主从控制”向“共生决策”演进,这种变革不仅重塑施工现场的组织形态,更催生出新型生产力关系。根据国际建筑自动化与机器人协会(IAARC)2024 年报告,全球智能建造设备的人机交互效率较五年前提升 3.2 倍,而事故率下降 57%,标志着协作模式进入新纪元。

认知增强系统的突破性应用正在改变决策机制。波士顿动力 Atlas 机器人与人类工程师的混合团队在迪拜某超高层项目中,通过脑机接口实现每秒 18 次的意图交互,使钢结构吊装效率提升 40%。

群体智能的涌现效应重构现场管理逻辑。北京大兴机场扩建工程中,由 278 台智能机器形成的自组织集群,通过分布式决策算法动态调整施工路径,在未增加资源投入情况下提前 17 天完成 13 万平方米的钢结构施工。

伦理框架的同步构建成为智能建造领域不可忽视的议题。2024 年 5 月,欧洲委员会通过《人工智能与人权、民主和法治框架公约》,并于同年 9 月开放签署。作为全球首个具有法律约束力的 AI 国际公约,其确立的核心原则(包括第 3 条的透明性、可解释性、非歧视性要求,第 7 条的高风险系统人工干预机制,以及第 9 条的算法决策完整溯源义务)虽未专门针对智能建造领域,但将间接影响建筑行业 AI 应用。该公约与欧盟《人工智能法案》(2025 年生效)等区域性立法共同构成智能建造技术的伦理治理框架,要求可能涉及公共安全的建筑 AI 应用(如自动化施工系统、BIM 决策工具)需符合公约的人权与民主监督要求,并遵守《人工智能法案》的高风险合规义务。目前部分国家正结合公约原则探索建筑 AI 的行业实施细则。

表 2-8 2010—2030 年人机协作模式演进对比

维度	机械替代阶段(2010 s)	智能协作阶段(2020 s)	认知共生阶段(2030 s)
交互方式	单向指令执行	双向数据交互	多模态感知融合
决策权重	人类绝对主导	人机协同决策(示教编程+自主避障)	有限自主决策
典型技术	工业机械臂	协作机器人	脑机互联系统
伦理关注点	安全防护缺失	数据隐私/责任界定	意识边界/算法偏见

2.3.2 高端装备的技术革命浪潮

智能建造装备正经历从“功能替代”到“能力超越”的质变,这种变革在三个维度形成突破:

极端环境建造装备的突破拓展人类活动疆域。中国铁建研发的“雪龙号”极地智能建造平台,集成-60℃低温电池技术与自主地热感知系统,在南极科考站扩建工程中实现全年不间断施工,将传统极地建造效率提升7倍。其装备的激光破冰模块可在30秒内穿透3米厚永冻层,较传统机械破冰能耗降低83%。



图 2-9 雪龙 2 破冰船

微观精度装备的量子飞跃重塑质量管控体系。瑞士 ABB 集团最新推出的纳米级 3D 打印机器人,采用量子定位技术实现 0.1 纳米级施工精度,成功应用于芯片制造厂的抗震结构施工。这种技术突破使得建筑精度标准从毫米级向原子级跃进,倒逼 ISO 重新制定建造公差标准体系。

装备自进化系统的成熟应用打破生命周期局限。日本小松的智能挖掘机通过联邦学习技术,在全球 20 万台设备间实时共享操作数据,使新一代机型在未进行硬件升级情况下,燃油效率每年自主提升 2.3%。这种持续进化能力正在改写装备折旧的经济模型,某央企测算显示其设备残值率可因此提高 18 个百分点。



图 2-10 小松智能挖掘机

表 2-9 2025 年全球高端建造装备市场格局预测

技术领域	核心企业	市场份额	技术成熟度
极地工程装备	卡特彼勒、利勃海尔	0.5%—1.2%	L3(初步商业化)
纳米施工机器人	ABB、发那科	未商业化	L2(实验室原型)
智能建造系统	小松、三一重工	30%—35%	L4(规模化应用)
太空基建技术	NASA 合作企业、中国航天科技	<0.1%	L1(概念验证)

2.3.3 跨界融合的升维突破

建筑业与其他领域的知识壁垒正在消融,形成更具创造力的技术组合:

生物建造学的范式突破开启新可能。MIT 媒体实验室的“菌丝体建筑”项目,通过基因编辑技术改造蘑菇菌丝体,使其在预设模板中生长为承重结构。这种生物打印技术在上海某生态建筑试点中,使碳排放量降至传统混凝土建筑的 7%,且具备自然降解特性。该领域近三年专利数量增长 17 倍,预示建造方式将发生根本变革。

能源互联网与智能建造的深度融合重构产业边界。特斯拉 Megapack 储能系统与 BIM 的深度集成,使某数据中心项目的能源自给率突破 92%。更革命性的是,德国西门子正在测试将建筑外墙转化为钙钛矿光伏膜的“负碳建造”技术,预计可使建筑物在全生命周期内产生相当于建造成本 120%的能源收益。

元宇宙建造系统的商业落地开辟新维度。微软 Hololens 与 Autodesk 联合开发的 MetaSite 系统,允许工程师在虚拟空间操纵真实工地设备。在纽约某地铁扩建项目中,通过

元宇宙界面远程操控位于地下 60 米的盾构机,将复杂地层的掘进效率提升 55%,且实现零人员井下作业。

2.3.4 全球化发展的新秩序构建

智能建造正成为大国竞争的新焦点,技术标准与产业生态的博弈日趋激烈:

数字主权利要求正深刻影响建造领域。欧盟通过《数据治理法案》等立法,要求关键领域(含建筑)数据本地化存储。据行业估算,中国建筑科技企业的欧盟合规改造成本普遍增加数千万欧元量级。这种数据主权利要求的强化,促使部分企业开发符合欧盟要求的分区域技术方案。

太空建造技术竞赛持续升温。NASA 资助 ICON 等企业研发的月球基地建造系统,采用月壤原位 3D 打印技术,目标在 2030 年代建立可持续月球前哨站。中国探月工程规划的月球科研站建设,正在探索磁悬浮建造机器人等创新方案以应对月球低重力环境。

表 2-10 2025 年全球高端建造装备市场格局预测

趋势维度	技术协同度	产业影响度	标准主导权	地缘敏感性
人机协作	★★★★☆	★★★★☆☆	★★☆☆☆	★☆☆☆☆
高端装备	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆	★★☆☆☆
产业跃迁	★★☆☆☆	★★★★★	★★★★☆	★★★★☆
跨界融合	★★★★★	★★★★☆	★★☆☆☆	★☆☆☆☆
全球竞合	★★☆☆☆	★★★★☆	★★★★★	★★★★★

注:(★表示强度等级,☆代表半星,满级 5 星)

单元综合考核

1. 根据表 2-1,分析中国与德国在“建筑机器人应用密度”指标的差距,结合珠三角超高层项目案例(人工操作占比 70%),说明技术代差对生产效率的影响。
2. 对比《关于大力发展装配式建筑的指导意见》(2016)与《“十四五”建筑业发展规划》(2022)的核心目标,阐述政策重心从“规模化推广”到“全产业链协同”的演变逻辑,并举例说明其落地举措(如容积率奖励、智能建造试点城市)。
3. 依据 2.3.1 节“人机协作体系范式重构”内容,解释波士顿动力 Atlas 机器人如何通过脑机接口提升迪拜项目吊装效率 40%,并分析此类技术对传统施工管理模式的冲击。
4. 在“双碳”目标与人口红利消退的双重压力下,试讨论中国建筑业如何破局?

南京大学出版社
版权所有

模块二

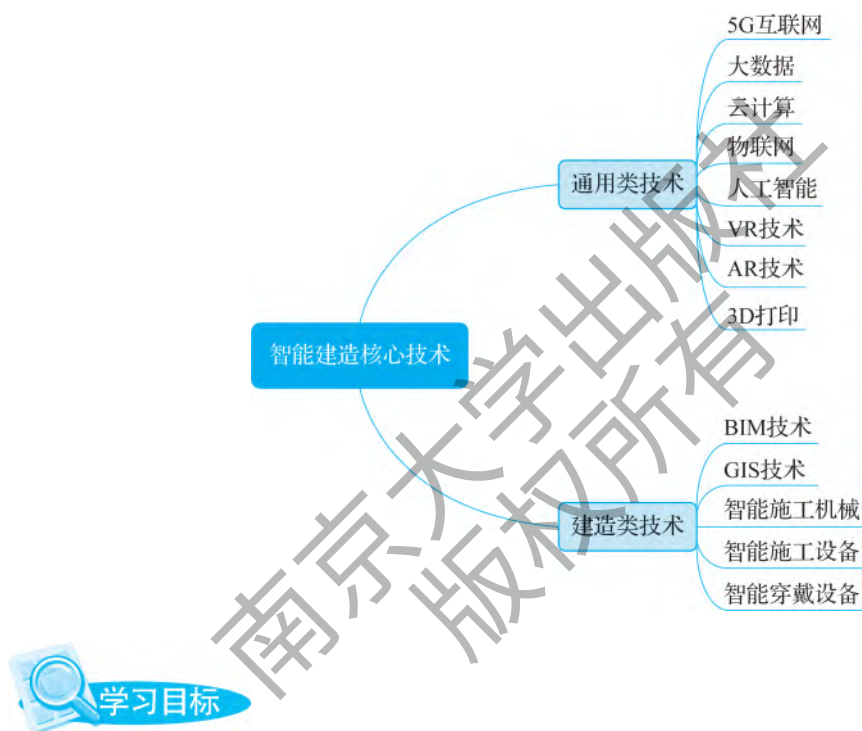
认知全新智能技术

南京大学出版社



南京大学出版社
版权所有

学习单元3 智能建造核心技术



知识目标：

- (1) 理解通用类技术原理并掌握其在建筑领域中应用范围；
- (2) 理解建造类技术原理并掌握其在实际工程中应用案例。

能力目标：

- (1) 能说出各类技术的特征和适用范围；
- (2) 能结合生活案例或工程案例判定使用的技术类型。

素质目标：

- (1) 锻炼分析实际问题、解决实际问题的能力；
- (2) 培育科学精神和创新精神；
- (3) 增强数字素养和数字意识。

3.1 通用类技术

互联网、物联网、大数据和人工智能等技术深刻改变了人们的生活、生产方式及社会组织形态,给我国的工业体系带来了巨大改变。新一轮工业革命席卷全球,德国提出了工业4.0、美国提出了工业互联网、中国提出了《中国制造 2025》。

本节主要介绍 5G 互联网、大数据、云计算、物联网、人工智能等技术。

3.1.1 5G 互联网

1. 5G 互联网简介

移动通信即无线通信,主要采用无线电波频率来通信。以 80 年代第一代移动通信技术(1G)发明为标志,经历 30 多年的持续发展,随着高质量、高速度、大容量通信的需求,2G、3G、4G、5G 应运而生。

5G,即第五代移动通信技术(5th Generation Mobile Communication Technology),相较于以往的移动通信技术而言,5G 一改面向消费娱乐通信应用的目标,专门设计了高上行速率、低时延、高可靠、海量连接、高能效、高安全等工业特性,成为面向各行业应用的工业级移动通信系统。据 IMT-2020(5G)推进组研究,5G 将具备比 4G 更高的性能,二者的性能对比如图 3-1 所示。同时,5G 还需要大幅提高网络部署和运营的效率,相比 4G,频谱效率提升 3 倍,能效和成本效率提升百倍以上。

 1980s 1G 大哥大	 1990s 2G 摩托罗拉	 2000s 3G 智能手机	 2010s 4G 智能手机	 2020s 5G 智能手机
 模拟信号	 短信	  短信 互联网	  短信 互联网  多媒体	  短信 互联网   多媒体 智能家居

图 3-1 1G~5G 对比

人们对体验的需求是无止境的,5G 的系统设计使得移动通信替代固定宽带成为可能。解决人与人的通信需求之后,怎么解决人与物、物与物的通信需求是 5G 的重点。由于采用了一系列技术创新,如更加精细化的调度方案(F-OFDM 基于子带滤波的正交频分复用、网络切片、Grant-free 等)和无线增强技术(Polar 码、Massive MIMO、3D-Beamforming 等),使 5G 成为确定性网络,为实时性和安全性要求高的工业应用打下了基础,也将因此而改变社会。这也就是为什么说“4G 改变生活,5G 改变社会”。

未来 5G 将渗透到社会的各个领域,拉近万物的距离,使信息突破时空限制,提供极佳的交互体验,最终实现“信息随心至,万物触手及”。更重要的是,5G 技术将伴随人工智能、云计算、大数据、区块链等高精新技术协同发展,实现万物感知、万物互联、万物智能,推动全产业链创新融合发展,引领一场新的技术革命,给各行各业带来全新的发展机遇。



图 3-2 5G 技术覆盖领域

2. 5G 互联网技术在建筑领域中的应用

在建筑施工行业,由于工程项目地域分散、从业人员移动工作、施工现场环境复杂,制约着互联网的应用实施。随着移动互联网的发展,如 5G 网络的普及,平板式计算机、智能手机等终端设备的技术成熟与普及,利用移动互联网代替传统互联网进行日常工作和生产作业成为可能。施工企业信息化系统通过移动平台建设,将信息化管理系统延展到移动终端上,将传统的“办公室信息化”扩展到任意地点,解决了施工行业对信息实时传递的业务需求。决策层可以随时随地审批,大大提高了施工企业的运作效率和运作质量。施工单位移动互联网应用主要包括以下几个方面。

(1) 在用户管理中的应用。充分利用移动互联网的实时性和便携性等特性,将移动互联网应用于用户管理、项目管理中,或者与现有的用户 ERP、项目管理系统进行集成应用。例如,用户办公系统有逐渐向移动端转移的趋势,流程审批、公文流转、通知公告、日程提醒等均通过智能手机完成,极大地提高了办公效率。项目管理系统与移动应用集成,现场人员通过移动设备分发任务,加快了信息传递的效率;管理层通过移动终端可直接审批流程,随时查看项目进度、成本、质量等业务数据,辅助决策。

(2) 在业务工作中的应用。施工现场人员流动作业、工地环境复杂,项目管理人员多是在现场作业,移动通信成为刚需。通过移动互联网应用可提高信息共享和传递的效率,以辅助现场工作。例如,现场通过移动终端实现电子化的图纸或模型的共享和展示,方便变更商



洽、设计交底、施工指导、质量检查等工作。

(3) **与新技术的集成应用**。首先是与 BIM 技术的集成应用。在施工质量检查过程中, 质量管理人员可应用移动终端设备调用 BIM 文件, 通过三维模型与实际完工部位进行对比检查。然后是与物联网技术集成应用, 通过 RFID、电子标签、测量器、传感器、摄像头等终端设备, 实现对项目建设过程的实时数据采集和有效管理, 并结合移动设备, 将这些实时数据传输输出, 提高作业现场管理能力, 加强人与建筑交互。

课堂互动

2016 年, 二维码扫码支付开始普及, 人们出门不再需要随身携带现金。请你结合自身的经历谈谈互联网的发展给我们生活带来了什么变化。

3.1.2 大数据

1. 大数据简介

大数据是指海量的数据, 大数据技术是一种对大规模、多样化的数据通过高速捕获、发现并进行分析、处理的技术, 数据处理能力远高于传统数据库软件。

大数据具备如下特点, 简称“4V”:

(1) **数据体量大 (Volume)**。数据体量大是指大数据巨大的数据量与数据完整性, 数量的单位从 TB 级别跃升为 PB 级别甚至 ZB 级别。随着新一代信息技术的发展及各类设备的使用, 人和物的所有轨迹都可以被记录, “机器对机器”(M2M) 方式的出现, 使得交流的数据量成倍增长。

(2) **数据种类多 (Variety)**。伴随着传感器以及智能设备、社交网络等的飞速发展, 数据类型也变得更加复杂, 不仅包括传统的关系数据类型, 也包括以网页、视频、音频、邮件、文档等形式存在的原始、半结构化和非结构化的数据。

(3) **处理速度快 (Velocity)**。处理速度快通常理解为数据的获取、存储以及挖掘有效信息的速度快。现在有些数据是爆发式产生, 且数据是快速动态变化的, 难以用传统的系统去处理。大数据有批处理和流处理两种范式, 以实现快速的数据处理。

(4) **价值密度低 (Value)**。在数据量呈指数增长的同时, 隐藏在海量数据中的有用信息却没有相应比例地增长, 反而使人们获取有用信息的难度加大。以视频为例, 在连续的监控过程中, 有用的数据可能仅有一两秒。

2. 大数据技术在建筑领域中的应用

大数据在工程建设领域的应用主要是通过采集、存储、分析、展示在建设工程项目全生命周期产生的数据, 从中汲取知识、预测未来、风险管理, 辅助项目进行系统性决策, 以促成项目, 具体应用案例如下:

(1) **基于大数据的工程招投标**。目前, 我国招投标过程中仍存在如串通投标、虚假招标等问题。而通过对工程大数据的收集、存储、分析后, 既能快速核实招投标中各方信息, 预测招投标相关情况, 还能为交易决策提供强有力的数据支撑。如图 3-3 所示。此外, 基于工

程大数据,还能统计行业内的信用信息,建立招投标市场主体履约信息系统,促进工程招投标过程的公平、公正、公开。



图 3-3 大数据在招投标中应用

(2) 基于大数据的施工管理。如在安全管理方面,工程项目具有一定复杂性,传统施工项目难以对人、材、机等进行有效控制和管理,规避安全隐患。而通过工程大数据的采集、存储、分析等环节实现其有效利用,并对工程项目安全进行风险预测;如在进度管理方面,现阶段的施工进度计划管理难以离开现有的软件以及部分进度管理系统,基于现有软件、系统收集的进度数据,并对其进行汇集、分析,可得出影响进度的因素及工期履约情况;如在质量管理方面,依靠对工程大数据分析,施工单位能够全面掌握混凝土抗压强度、钢筋的焊接等数据,从而有效预判、管理和解决施工质量问题;如在环境管理方面,施工单位可利用建筑废弃物监管系统,实现对现场废弃物的计量、运输、处理等环节的信息化管理,政府则能宏观地了解项目废弃物的总体排放、回收情况。

3.1.3 云计算

1. 云计算简介

云计算(Cloud Computing)是分布式计算的一种,指的是通过“云”将巨大的数据计算处理程序分解成无数个小程序,通过多部服务器组成的系统进行处理和分析,并将结果返回给用户。

狭义上讲,云计算就是一种提供资源的网络,使用者可以随时获取“云”上的资源,按需求量使用,并且资源可以看成是无限扩展的,只要按用量付费就可以。“云”就像自来水厂一样,可以随时提供水,并且不限量,用户按照需求用水,按用水量付费。

广义上说,云计算是与信息技术、软件、互联网相关的一种服务,这种计算资源共享池叫作“云”。云计算把许多计算资源集合起来,通过软件实现自动化管理,只需要很少的人参与,就能快速提供资源。也就是说,计算能力作为一种商品,可以在互联网上流通,就像水、电、煤气一样,可以方便地被取用,且价格较为低廉。



云计算不是一种全新的网络技术,而是一种全新的网络应用概念。云计算的核心概念就是以互联网为中心,在网站上提供快速且安全的云计算服务与数据存储,让每一个使用互联网的人都可以使用网络上庞大的计算资源与数据中心。

2. 云计算分类

(1) 根据云计算的部署模式和使用范围进行分类,云计算可分为以下类型:

① 公共云

云端资源开放给社会公众使用。云端的所有权、日常管理和操作的主体可以是一个商业组织、学术机构、政府部门或者它们其中几个的联合。云端可能部署在本地,也可能部署在其他地方。

② 私有云

云端资源只给一个单位组织内的用户使用,这是私有云的核心特征。而云端的所有权、日常管理和操作的主体到底属于谁并没有严格的规定,可能是本单位,也可能是第三方机构,还可能是二者的联合。云端可能部署在本单位内部,也可能托管在其他地方。

③ 社区云

云端资源专门给固定的几个单位内的用户使用,而这些单位对云端具有相同的需求(如安全要求、云端使命、规章制度、合规性要求等)。云端的所有权、日常管理和操作的主体可能是本社区内的一个或多个单位,也可能是社区外的第三方机构,还可能是二者的联合。云端可能部署在本地,也可能部署在其他地方。

④ 混合云

混合云由两个或两个以上不同类型的云(公共云、私有云、社区云)组成,它们各自独立,但用标准的或专有的技术将它们组合起来,而这些技术能实现云之间的数据和应用程序的平滑流转。将多个相同类型的云组合在一起属于多云的范畴,比如两个私有云组合在一起,混合云也属于多云的一种。由私有云和公共云构成的混合云是目前最流行的,当私有云资源短暂性需求过大(云爆发)时,会自动租赁公共云资源来平抑私有云资源的需求峰值。例如,网店在节假日期间点击量巨大,这时就会临时使用公共云资源来应急。

⑤ 行业云

行业云是针对云的用途来说的,不是针对云的拥有者或者用户。如果云平台是针对某个行业进行特殊定制的(如汽车行业),则称为行业云。行业云的生态环境所用的组件都是比较适合相关行业的组件,并且上面部署的软件也都是行业软件或其支撑软件。例如,如果是针对军队所建立的云平台,则上面部署的数据存储机制应当特别适合于战场数据的存储、索引和查询。行业云适合所针对的行业,但对一般的用户可能价值不大。一般来说,行业云的构造会更为简单,其管理通常由行业的龙头老大,或者政府所指定的计算中心(超算中心)来负责。

(2) 根据云计算的服务层次和服务类型进行分类,可以分为三层:基础设施即服务(IaaS)、平台即服务(PaaS)和软件即服务(SaaS)。不同的层提供不同的云服务,如图 3-4 所示。

① 基础设施即服务(Infrastructure as a Service, IaaS)

IaaS 位于云计算三层服务的最底端,是狭义的云计算所覆盖的范围,就是把 IT 基础设

施像水、电一样以服务的形式提供给用户,以服务形式提供基于服务器和存储等硬件资源的可高度扩展和按需变化的 IT 能力,通常按照所消耗资源的成本进行收费。

该层提供的是基本的计算和存储能力,以计算能力的提供为例,其提供的基本单元就是服务器,包含 CPU、内存、存储、操作系统及一些软件。

② 平台即服务(Platform as a Service, PaaS)

PaaS 位于云计算三层服务的中间,通常也称“云操作系统”。它提供给终端用户基于互联网的应用开发环境,包括应用编程接口和运行平台等,支持应用从创建到运行整个生命周期所需的各种软硬件资源和工具,通常按照用户登录情况计费。在 PaaS 层面,服务提供商提供的是经过封装的 IT 资源,或者是一些逻辑资源,如数据库、文件系统和应用运行环境等。

③ 软件即服务(Software as a Service, SaaS)

SaaS 是最常见的云计算服务,位于云计算三层服务的顶端。用户通过标准的 Web 浏览器来使用互联网上的软件。服务供应商负责维护和管理软硬件设施,并以免费或按需租用方式向最终用户提供服务。这类服务既有面向普通用户的,也有直接面向用户团体的,用于帮助处理工资单流程、人力资源管理、协作、客户关系管理和业务合作伙伴关系管理等。这些 SaaS 提供的应用程序减少了客户安装与维护软件的时间及其对技能的要求,并且可以通过按使用付费的方式来减少软件许可证费用的支出。

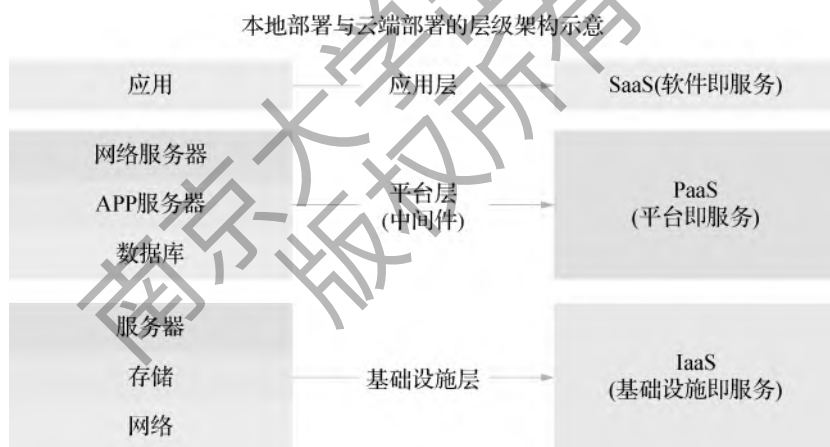


图 3-4 云计算的三种模式

3. 云计算技术在建筑领域中的应用

云计算作为一种新兴的信息技术,正逐渐在建筑领域展现出重要价值,其应用主要体现在以下几个方面:

(1) 设计阶段进行协同设计和模拟分析

建筑设计往往涉及多个专业团队,如建筑师、结构工程师、电气工程师等。云计算为这些团队提供了一个实时共享和协作的平台。通过基于云的设计软件,不同专业的设计师可以在同一云端项目文件上进行操作,即时看到他人的修改,方便随时沟通和协同工作,大大提高设计效率,减少因沟通不畅导致的设计冲突和错误。

另外,建筑设计需要对各种性能进行模拟分析,如采光、通风、能耗等。云计算强大的计



算能力能够快速处理大量数据,完成复杂的模拟任务。利用云平台上的建筑能耗模拟软件,可以对不同设计方案的能源消耗进行精确模拟,帮助设计师优化设计,打造更节能的建筑。

(2) 施工阶段进行安全监控和项目管理

施工现场的各类传感器(如摄像头、传感器节点等)收集到的大量数据可以实时传输到云端进行分析。例如,通过对塔吊运行数据(如高度、角度、载重等)的实时监测和云计算分析,能够及时发现潜在的安全隐患,提前预警,避免塔吊事故的发生。

对于施工现场的人员安全管理,利用云计算结合人脸识别技术,可对进入施工现场的人员进行实时身份验证和行踪跟踪,确保只有经过授权的人员进入危险区域,保障施工安全。

云计算为建筑施工项目管理提供了集成化的平台。项目管理者可以在云端实时更新项目进度、资源分配、质量检查等信息,所有项目相关人员,包括施工人员、监理、供应商等都能通过网络随时获取最新数据,实现高效的信息流通和协同工作。



图 3-5 人脸识别进入施工现场

课堂互动

大部分社交媒体都是利用了大数据和云计算技术个性化推送用户感兴趣的内容,请你结合自身理解谈谈在大数据时代我们如何保证个人信息安全。

3.1.4 物联网

1. 物联网简介

物联网就是物与物之间相连的网络。物联网最初是指实实在在的物体或物品,借助传感手段和相关的一些设备,有效实现和因特网的连接,以便完成对物体智能化的识别并实现管理的一种新型的网络。在信息技术发展迅猛的今天,物联网的定义也不断发生着变化。“万物的连接形成了物联网”这一定义很好地总结了网络对时间、地点、任务以及发展的过程。物联网

技术的本质是人工智能、感知技术、现代网络技术及自动化技术的有机结合体。物联网技术有效地实现了物物、人物互联,营造了科技化、智能化、一体化、系统化的智能世界。

物联网的广泛运用为相关的行业在一定程度上提供了新的思路、理念及工作方法。通过运用物联网技术,“物”也具有了智慧,“智慧地”为人类服务。物联网是对现实中的物与物进行的智能化、系统化和网络化过程。物联网技术把网络技术、感知技术和人工智能技术进行了有效的整合,并且在一定程度上促进了技术的完善和发展。智能建筑物联网的结构如图 3-6 所示,它包括感知层、网络层和应用层。

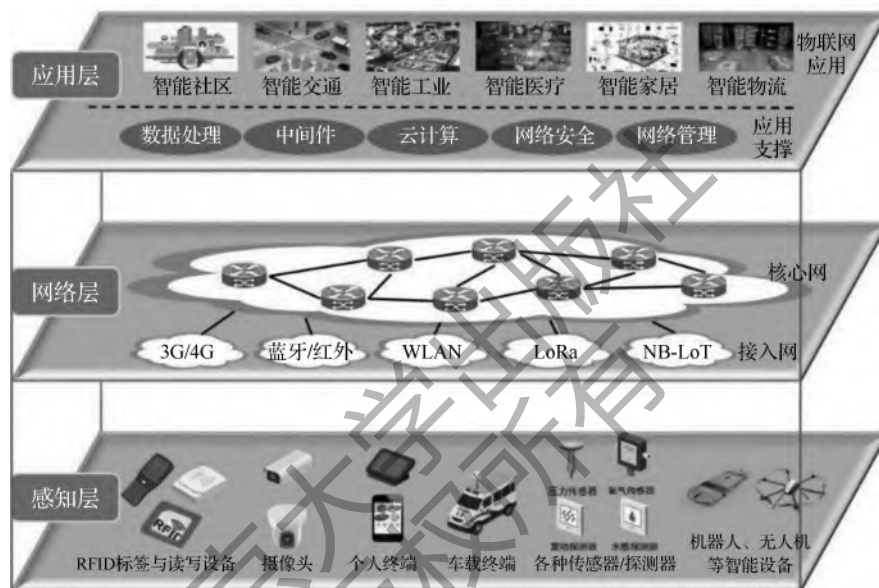


图 3-6 物联网的结构

2. 物联网技术在建筑领域中的应用

通过物联网技术可以提升建筑工程在设计、施工、采购、验收等方面的效率和科学性,且当前物联网技术在建筑工程中已经被推广应用,效果也较为显著,见图 3-7。对建筑工程以及相关施工流程进行信息化是一种必然趋势,利用无线射频芯片以及二维码等技术就可以对相关构件生产、检验、入库等信息进行记录并追踪,进而保证建筑工程的整体质量。随着物联网芯片技术的进一步发展,可以将相关的射频芯片设置为跟踪芯片对施工过程以及验收工作的信息采集,实现全程监控体系,进而提升工程质量。以下主要介绍物联网在建筑领域施工阶段的应用。

(1) 监控管理

通过物联网技术可以实现对事物和作业的不间断监测以及预知高层建筑、桥梁、隧道、水坝等结构局部的荷载及状况,及时响应突发事件,还可以设计一些通过提供工作活动必需的实时信息来帮助工作人员提高过程意识的智能工具,如以压缩空气为动力的气动路面破碎机能高效完成钢筋混凝土、岩石、沥青的破碎工作,适宜桥梁、道路养护、抢修及拆除的施工作业。



(2) 施工安全

在施工过程中,施工事故隐患无处不在。基于 BIM 技术的物联网应用可以改善并避免安全生产事故的发生。例如,在临边洞口、出入口防护棚、电梯井口等防护设施上使用无线射频识别标识,并在标签芯片中载入对应编号、防护等级、报警装置等,在与管理中心的系统相对应后,可达到实时监控的效果。

(3) 技术质量

目前,工程人员依据二维平面图进行工程施工,在施工达到一定阶段时可以在施工阶段的任何时候通过对模型进行检测碰撞分析,从而确保施工合理有序进行。防止可能会因设计上的不合理或冲突而造成的返工。BIM 技术提供的碰撞检测、多维实体分析功能利用物联网技术对工程隐蔽部位放置反映质量参数的感应器,结合 BIM 系统的三维信息技术,可以精准定位到工程的每个关键隐蔽部位,从而检测质量状况是否达到相应的要求。

(4) 成本控制

工程施工发生实际工程量及工程返工是造成工程成本变化的重要因素。将 BIM 技术和物联网结合,可以根据时间、楼层、工序等维度进行条件统计,制订详细的材料采购计划,并对材料批次标注无线射频标签来控制材料的进出场时间和质量状况,从而避免出现因管理不善造成的材料损耗增加和因材料短缺造成的停工或误工。



图 3-7 基于物联网的智能建造协同平台

3.1.6 人工智能

1. 人工智能简介

《人工智能标准化白皮书》认为,人工智能是利用数字计算机或者数字计算机控制的机

器模拟、延伸和扩展人的智能,感知环境、获取知识并使用知识获得最佳结果的理论、方法、技术及应用系统。人工智能技术的特点包括:

(1) **以人为本,为人类提供服务**。从根本上来说,人工智能系统必须以人为本。这些系统是人类设计出的机器,按照人类设计的程序、算法、硬件载体进行运行或工作,其本质体现为计算。通过对数据的采集、加工、处理、分析和挖掘,系统形成有价值的信息流和知识模型,为人类提供延伸人类能力的服务,实现人类期望的一些“智能行为”的模拟。

(2) **环境感知,与人交互互补**。人工智能能够通过各类传感器对外界环境进行感知,接收来自环境的各类信息并做出必要的反应。借助一定载体,人与机器间进行交互、互动,使机器能够理解人类的需求,并实现机器与人类的共同协作、优势互补。

(3) **有自适应性,能迭代学习**。在理想情况下,人工智能可以根据环境、条件变化来自适应调节参数或更新优化模型;并在此基础上广泛扩展与云、端、人、物的数字化连接,实现机器客体乃至人类主体的演化迭代,从而应对不断变化的外部环境。

2. 人工智能技术在建筑领域中的应用

目前,机器学习、自然语言处理、计算机视觉、生物特征识别等人工智能的核心技术已被运用于建筑设计、施工、运维等阶段,成功替代了建设工程全生命周期中存在的大量简单重复的体力和脑力劳动,极大地解放了劳动力并提升了工作效率,提高了工作的精准度和工程质量。目前人工智能技术在建筑领域中的应用主要如下:

(1) 机器学习在建筑领域的应用

机器学习从数据或样本出发,寻找规律并利用规律,基于反复试验来学习或模拟人类行为。在建筑领域,机器学习可以基于对现有数据的学习,列举海量的组合和替代方案,并不断优化路径进行自我纠偏,选出最佳方案,辅助项目决策。如在建筑设计阶段,机器学习算法凭借计算机的存储能力、记忆能力和运算能力,在不断地寻找规律中创造出更优的建筑设计方案;如在建筑施工阶段,机器学习能够用于项目的精确测算和决策辅助,通过各类传感器自动获取施工现场信息,从而根据现场情况自行调整人员、材料、进度、预算的规划策略。

(2) 自然语言处理技术在建筑领域的应用

自然语言处理技术可以将非结构化的文本信息转化为结构化信息,如在设计阶段,对项目中使用建筑信息模型的用途进行分类,并对原有案例的设计协调、冲突检测进行学习,这样获取相似案例,为建设项目的图纸设计和方案规划提供辅助决策;在施工阶段,辅助管理人员进行合同管理。如工程索赔方面,提取索赔文本和关系,实现建筑索赔法律自动化分析。

(3) 计算机视觉技术在建筑领域的应用

利用计算机视觉技术结合机器学习的理论和方法可以实现图像场景的自动化识别和分类,机器能够像人一样提取、处理、理解和分析图像以及图像序列,将这些应用延伸至建设工程领域,可以帮助完成设计阶段快速建模、现场材料设备检测等任务。如根据卫星航拍的建筑轮廓,通过图像识别实现二维图形到三维模型的自动生成。在施工阶段,可以辅助开展施工安全等的现场监控,如塔式起重机交叉作业时的碰撞事故、设备超载、结构受损等,从而实现实时安全引导,减少安全事故发生,见图3-8。

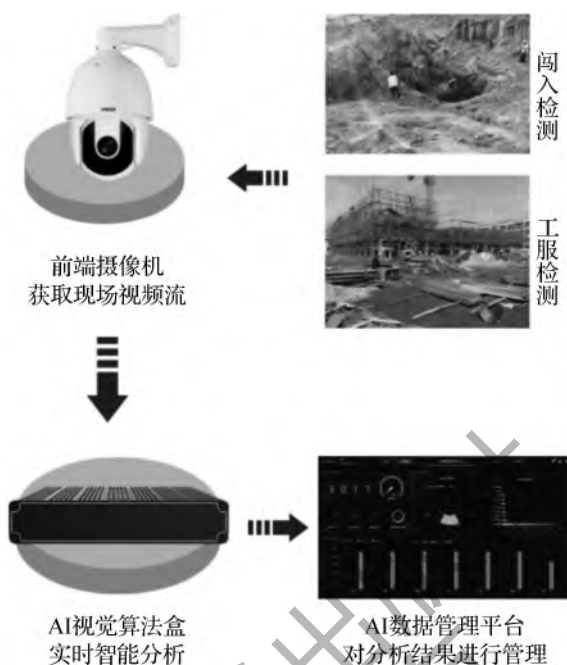


图 3-8 人工智能的现场应用

(4) 生物特征识别技术在建筑领域的应用

生物特征作为智能化认证的重要技术,可实现指纹、掌纹、人脸、虹膜、声纹、步态等多种生物特征的识别。如在施工阶段,基于人脸识别系统实现现场自动化人员考勤管理;后期运维和管理也是建筑全生命周期中的关键环节,从简单的人脸识别、指纹开锁到智能家居系统,人工智能已经在建筑运维中为用户提供了多种便捷的服务。将基于生物特征识别的人工智能系统用于建筑的运维管理,可以实现人员进出口自动控制、费用在线缴纳以及温度、灯光、湿度等的自动调控。

课堂互动

基于人工智能技术的无人塔吊已经在全国多地普及,请收集相关资料,解释人工智能是如何运用于无人塔吊的。

3.1.7 VR 技术

1. VR 技术简介

虚拟现实技术(Virtual Reality,简称 VR)是一种利用计算机创建并体验虚拟环境的仿真系统,它通过融合多源信息的、实时的三维动态视景,以自然的方式与基于实体行为的系统相交互,从而使用户得到视觉、听觉、触觉一体化的沉浸式体验。VR 技术具有如下的特点:

(1) 沉浸性。也称临场感,作为 VR 技术的最主要特征,它是指用户从心理和生理上感

受到置身于计算机所创建的三维虚拟环境的真实程度。沉浸性来源于对虚拟环境的多感知性,包括视觉感知、触觉感知、味觉感知、嗅觉感知和运动感知等,以实现在用户对虚拟空间中刺激的感知,达到思想共鸣、心理沉浸,产生如同进入现实世界的效果。

(2) **交互性**。这是一种近乎自然的交互,是用户对虚拟世界中对象的可操作程度和从环境中得到反馈的自然程度(包括实时性)。在虚拟空间中,用户借助各种专用设备(如头盔显示器、数据手套等)以自然的方式在虚拟环境中自主交流或操作对象时,周围环境会产生如同真实世界的反应。

(3) **构想性**。也称想象性,是用户进入虚拟空间,实现与周围对象的交互,进而拓宽事物的认知范围,以创造出真实世界不存在或不可能发生场景的能力程度。构想性也可以理解为用户对虚拟环境中多源信息和自身行为的认知,通过联想、推理和逻辑判断等思维过程,对复杂系统中的运动机理和规律进行深层次认识。

2. VR 技术在建筑领域中的应用

(1) **基于虚拟现实技术的建筑规划设计**。设计人员利用 VR 技术可以可视、动态、全方位地展示建筑物所处的地理环境、建筑外貌、建筑内部构造和各种附属设施,使人们能够在一个虚拟环境中,甚至在未来建筑物中漫游,如图 3-9 所示。目前,VR 技术已成为建筑方案设计、装修效果展示、方案投标、方案论证及方案评审的有力工具。

(2) **基于虚拟现实技术的建筑施工管理**。在三维可视化虚拟环境中,设计人员可利用 CAD 设计软件建立对象结构实体模型,将模型的几何信息输入有限元分析软件(如 ANSYS 等)中,建立三维可视化有限元模型,然后对有限元模型进行计算分析。有限元模型数据和分析结果数据分别存入相应的数据库中,并转化成图形数据文件,表达为图形或图像的形式,使设计人员沉浸在三维可视化的虚拟环境中观察模型的模拟和计算,并实时地对模拟过程进行修改,直到获得满意的方案。最后将最优施工方案的结果存入数据库,为绘制施工图提供可靠依据。



图 3-9 基于 VR 技术的全息投影



课堂互动

学校具备 VR 实训条件的,组织学生进行 VR 体验,让学生谈一谈 VR 技术的优势。

3.1.8 AR 技术

1. AR 技术简介

增强现实技术(Augmented Reality,简称 AR),是一种将真实世界信息和虚拟世界信息“无缝”集成的新技术,是把原本在现实世界的一定时间和空间范围内很难体验到的实体信息(视觉信息、声音、味道、触觉等)通过模拟仿真后再叠加,将虚拟的信息应用到真实世界,被人类感官所感知,从而达到超越现实的感官体验,实现了从“人去适应机器”到技术“以人为本”的转变。随着科技的发展,增强现实越来越贴近人们的生活。

AR 技术指的是用虚拟内容来做视觉上的增强,通过屏幕或投影设备来显示,其本质是通过计算机技术将生成的虚拟物体、场景、视频、音频、动画及提示信息等叠加到真实世界,通过混合技术给用户呈现一个信息增强的现实世界与虚拟世界的混合体,其特征包括:

(1) **虚实交融**。也称虚实结合,是将虚拟对象合成或叠加到真实世界,实现虚拟环境与真实环境的融合,强化真实而非完全替代真实。用户可以在虚实融合的世界里更细致地观察内容,探索世界的奥妙。

(2) **实时交互**。是让用户进入虚实融合的环境后产生的一种具有“真实感”的复合视觉效果场景,该场景可以跟随真实环境的变化而改变。如虚拟对象可以同用户或真实对象以自然的方式交互,用户也可以通过实时操作、多感官信息的获取,体验情感交互与认知交互。

(3) **三维注册**。又称三维沉浸,指利用用户在三维空间里的行为来调整计算机中的虚拟信息,使用户的心理和生理在虚拟世界中得到的认知体验与真实世界中的一模一样,甚至超越在真实空间的体验感。

2. AR 技术在建筑领域中的应用

增强现实技术是将相应的数字信息植入虚拟现实世界界面,有力弥补了建筑业向数字化、信息化迈进中对可视化管理平台缺失的问题。

(1) **基于增强现实技术的建筑设计仿真**。增强现实可以与虚拟现实一样进行建筑设计仿真,但与虚拟现实的建筑设计仿真相比,增强现实在进行设计的过程中,设计人员可以不用对建筑的周边环境进行建模处理,这样不仅能够缓解设计人员在仿真工作中的工作量,同时也能够对建筑设计的进程起到促进作用。在最后的输出结果中,周边环境的情况真实有效,设计人员会更加贴切和合理地做出建筑设计方案和准确有效的评估。

(2) **基于增强现实技术的建筑施工**。技术员与工人在施工现场利用 AR 技术所形成的图像进行交底。如利用 BIM 软件或其他 3D 类软件,制作工法样板相关模型以及工艺工序动画,封装以后,载入 AR 平台,通过这类平台对现实环境进行扫描,从而将制作的 BIM 模型与现实环境相关联,投影到现实世界的图样中,见图 3-10。此种方式将纸质版的施工工艺方案作为 AR 施工的触发载体,结合方案中涉及的 BIM 节点、工艺流程动画等,直观感受需

要被建造的结构及其与现实空间的关系,并且快捷查看建筑信息。相比于前一种交底方式的 BIM 模型,此图像更为直观,让人更容易理解空间关系。这种方法操作简单,性价比较高。



图 3-10 基于 AR 技术的建筑施工

课堂互动

说说 VR 和 AR 技术的相同点和不同点。

3.1.9 3D 打印

1. 3D 打印简介

3D 打印(3DP)是快速成型技术的一种,又称为增材制造技术,它是一种以数字模型文件为基础,运用粉末状金属或塑料等可黏合材料,通过逐层打印的方式来构造物体的技术。3D 打印通常是采用数字技术材料打印机来实现的,常在模具制造、工业设计等领域被用于制造模型,后逐渐用于一些产品的直接制造,已经有使用这种技术打印而成的零部件。该技术在珠宝,鞋类,工业设计,建筑、工程和施工(AEC),汽车,航空航天,牙科和医疗产业,教育,地理信息系统,土木工程等领域都有所应用。

2016 年,住建部发布《2016~2020 年建筑业信息化发展纲要》,规定积极开展建筑业 3D 打印设备及材料的研究。结合 BIM 技术应用,探索 3D 打印技术运用于建筑物品、构件生产,开展示范应用。3D 打印混凝土建筑目前在国内还处于起步阶段,国内高校、研究院联合建设单位正在研制和开发 3D 打印建筑技术,从建造逻辑、结构形式、建造技术方面与传统建造方式进行对比,理论上分析论证了 3D 打印建筑技术的可行性和应用趋势。

3D 打印技术具有如下特点:

(1) **较低的成本**。打印建筑构件可有效避免材料存储成本,也可充分利用建筑垃圾等,形成资源循环利用;3D 打印建筑工期短,所需的劳动力少,劳工成本低。

(2) **塑形能力强**。3D 打印适合异形混凝土构件的建造,可以实现中空、镂空制作,实现传统技术无法实现的形状。



(3) **环保性强**。构件提前预制,建筑安装工程产生的建筑垃圾和灰尘等比传统方法少。建筑 3D 打印技术作为一项高新制造技术,在建筑施工效率、人力节省、资源环保等方面有着明显技术优势。3D 打印建筑不需模板施工,一次成型,减少资源消耗,避免因返工和因尺寸差别而导致的资源浪费。

2. 3D 打印在建筑领域中的应用

3D 打印技术在混凝土材料的建筑上应用较多,包括一般的房屋建筑、特殊形状建筑、桥梁主体结构及辅助构件。

(1) **3D 打印房屋建筑**。建筑 3D 打印一般按照建筑设计三维模型打印墙体的外轮廓,中间通常为中空,墙体的打印外壳可以作为模板,中间填充混凝土或保温材料。

(2) **混凝土 3D 打印**。打印经过设计师设计的特殊形状的市政公共设施、景观部品,甚至是大型的混凝土雕塑轮廓,这些特殊的应用也能够体现出混凝土 3D 打印的特点和优势。见图 3-11。

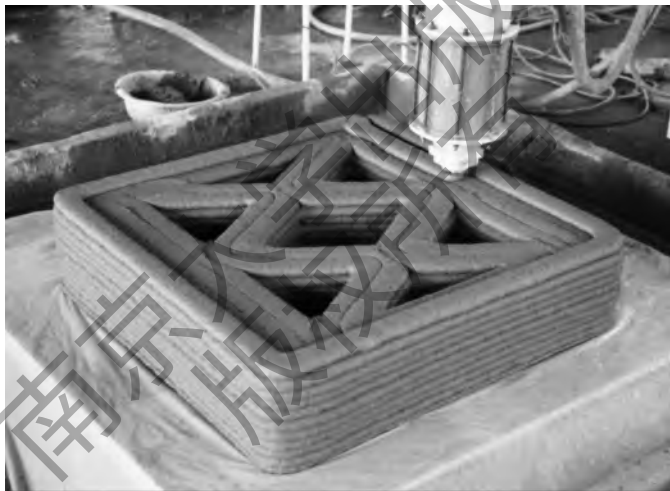


图 3-11 3D 打印混凝土

(3) **3D 打印桥梁主体结构及辅助构件**。3D 打印特别适合打印桥梁工程、市政轨道工程中墩柱的模板。混凝土 3D 打印一些桥梁工程、市政轨道工程中的异形墩柱的模板,可以节省大量的模具费用,并且可以降低造价,打印的模壳作为永久结构部分不必拆除,对桥梁支柱可以起到良好的保护作用。

(4) **3D 打印公共设施**。城市中的公共设施建筑一般具有小型化、多样化的特点,建筑 3D 打印针对这样的公共设施的建造相较于传统制模具有很大的优势。它既可以满足快速制作,又可以根据设计进行专业化的定制,具有良好的应用前景。

(5) **3D 打印大型景观构件**。3D 打印在异形曲线路径的打印上具有独特优势,通过混凝土 3D 打印可以制作一些景观雕塑,再进行后期的表面处理,提高作品的表观质量。3D 打印工艺也可以实现建筑师的大胆设计,降低传统石材雕刻对环境的污染,节能环保。

3.2 建造类技术

不同于互联网、物联网、大数据等通用技术,BIM、GIS、智能机械和设备等技术直接面向建筑领域,给建筑业的生产组织方式带来了巨大的改变。

3.2.1 BIM 技术

1. BIM 技术简介

在《建筑信息模型应用统一标准》(GB/T 51212—2016)中,将 BIM 定义为:建筑信息模型(Building Information Modeling,简写 BIM),是指在建设工程及设施全生命期内,对其物理和功能特性进行数字化表达并依此设计、施工、运营的过程和结果的总称,简称模型。

BIM 技术具有可视化、协同性、模拟性、优化性、关联性、可出图性等六大特点。见图 3-12。



图 3-12 BIM 模型

(1) **BIM 技术的可视化。**即人们可以清楚地看见建筑模型的各构件、材料、设备位置、尺寸等相关信息,各种调整和优化的操作均在可视化的情形下完成。BIM 可视化的特点有助于人们精确了解施工管理的相关操作,如复杂节点施工、专项工程交底、材料用量等都可以做到精确控制,避免失误造成返工;同时,各专业人员可以在可视的条件下进行交流和沟通,对相关参数的理解和应用也更加可靠。

(2) **BIM 技术的协同性。**就是为各参建单位提供一个协同平台,基于该平台,各参建单位能够协调一致地对项目进行同步统一管理,其管理效率将明显提高;并且由于该平台具有信息能够将管理效应发挥到最大。

(3) **BIM 技术的模拟性。**BIM 模型在实际工程施工前可以模拟具体的施工过程,使施工人员对施工过程有事先的了解,减少施工中错误的发生;同时可以进行虚拟漫游,使人身临其境地置身于建筑物中,切身体会和感受建筑的空间架构,从而对建筑空间结构的合理性做出预判。BIM 技术的模拟性能够真实展现工程的建设过程,各专业人员在施工过程中也更加协调,同时材料、设备、机械等各种资源调配能够得到合理安排。



(4) **BIM 技术的优化性。**利用 BIM 技术可以对施工进度、施工方案、材料资源等进行优化,使项目满足建设目标的要求。

(5) **BIM 技术的关联性。**BIM 模型各构件之间具有关联性,当模型中某个构件的参数发生变化时,会引起其他构件参数的相应变化,甚至整个模型的参数信息也跟着发生变化。

(6) **BIM 技术的可出图性。**在施工图设计阶段,对于已经建立的 BIM 模型,可根据实际需要,选择相关参数输出建筑的平面图、立面图和剖面图以及建筑节点详图或大样图,直接用于指导施工。

2. BIM 技术在建筑领域中的应用

BIM 是以三维数字技术为基础,集成了建筑工程项目全生命周期信息的工程数据模型,其核心是数据信息。通过对工程项目设施实体与功能特性的数字化表达,形成完善的 BIM 信息模型,可以连接建筑项目全生命周期中不同阶段、不同利益相关方的数据、过程和资源。见图 3-13。

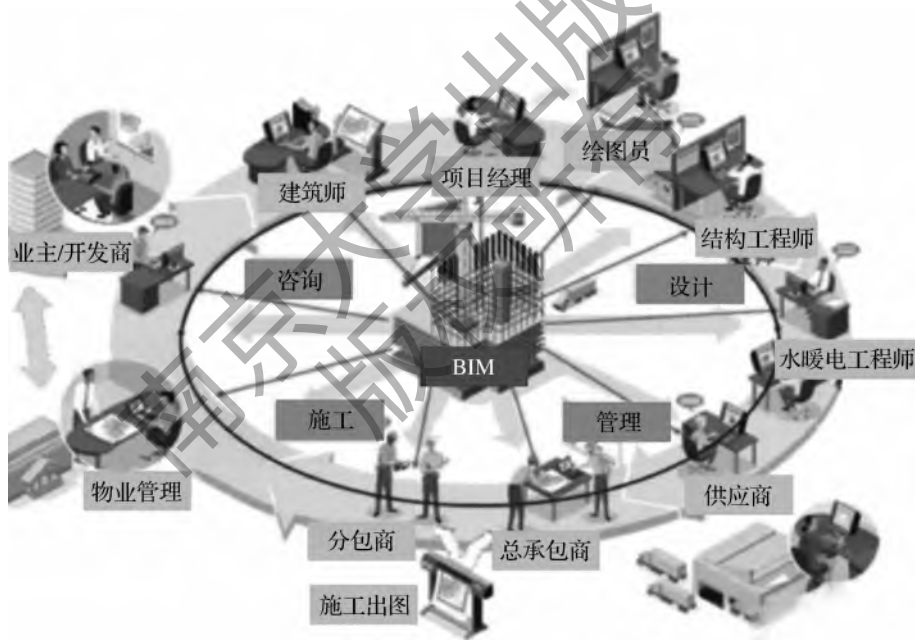


图 3-13 BIM 应用范围

(1) **BIM 在决策阶段的应用。**建设工程在开展前一般都会进行项目决策,实现对项目工程的前期规划,项目的决策同时影响着整个建筑的经济效益以及具体的发展方向。在项目的决策阶段,通过 BIM 可以协助场地分析,加快决策速度,节约资金使用成本。

(2) **BIM 在设计阶段的应用。**建设工程的设计与建设工程的质量有很大的影响,与项目的资金投入等也有多方面的影响。通过合理使用 BIM 技术,结合建筑的实际要求将建筑结构、给水排水等进行科学合理的安排从而构建建筑、结构和设备模型。技术人员可以进行管线冲突检测及三维管线综合,从而将设计中的错误进行调整,不断地优化设计,很大程度减少了建设工程的成本投入。

(3) **BIM 在施工阶段造价控制中的应用。**现阶段,我国建设工程实际建造过程施工周期比较长,同时我国经济市场不稳定,这就导致建设工程造价的难度比较大。通过使用 BIM 技术,可以合理对建设工程的具体施工阶段进行划分,将大的工程划分为不同阶段的施工内容,通过模型展现出该阶段所用的建筑材料、设备等内容,并将所有的信息与招标文件等汇总分析,大大提高了成本预算的可靠性。建设工程的施工过程比较复杂,在实际的施工过程中会出现工程量变更的情况,工程量的变更不仅会使施工进度受到阻碍,也会对工程造价产生比较大的影响。通过使用 BIM 技术模拟建设过程中出现的问题,如图 3-13 所示,找出问题并给出解决方案,可以降低因工程量的变化而引起的工程造价变化的概率。此外,当工程量发生变更时,会伴随费用索赔现象的出现,当具有索赔条件时,甲乙双方必须进行合理的索赔。使用 BIM 技术,一旦工程量出现变更,系统就会自动更新工程造价的具体信息,从而保护双方利益不受损害。

(4) **BIM 在竣工阶段的应用。**由于建设工程比较复杂,涉及的内容比较多,导致建设工程竣工验收时涉及的数据比较多,核算人员通过人工核算,使得核算过程周期较长,同时出现错误的概率比较大。使用 BIM 模型将建设工程的具体信息合理统计,然后将信息共享,便于核算人员对数据的随时取用,大大提高了核算工作效率,很大程度提高了核算工作质量。

(5) **BIM 在维护管理的应用。**建设工程实际施工过程中涉及的机械设备也比较多,通过 BIM 技术可以实现对机械设备的定期维护以及对施工技术的管理,从而提高资产管理的质量。通过模型,对材料种类及数量、机械设备种类及数量等进行详细的统计并在模型中具体呈现出来,实现模型的真实可靠性。通过构建的可视化模型中对数据的标注,避免了建筑信息在传递过程中丢失以及被恶意改动,为建筑项目设计方案的更新提供了可靠的依据。为了防止出现设备故障等问题,技术人员必须不断对设备更新优化。BIM 技术具有专门的更新技术,能够实时了解设备的运行状况,从而制定科学可靠的维护方案,提高了设备的使用性能和寿命等。

课堂互动

目前建筑工程项目中利用 CAD 设计和利用 BIM 设计均存在,试比较 CAD 和 BIM 各自的特点。

3.2.2 GIS 技术

1. GIS 技术简介

GIS(Geographic Information System 或 Geo-Information System)又称为地理信息系统,它是一种空间信息系统,是对整个或部分表层空间中有关空间分布的数据信息进行采集、运算、分析和显示等功能的系统,它为我们提供了客观定性的原始数据。

GIS 技术在区域规划、环境管理、城市管理、辅助决策等方面发挥巨大的作用。在区域规划方面,GIS 进行信息筛选并转换为可用形式,成为规划人员的强大工具;在环境管理方面,GIS 可进行环境监测和数据收集,建立基础数据库和环境动态数据库,建立环境污染模型等,为环境评价、环境规划管理提供有力支持;在城市管理方面,GIS 帮助管理人员查询设

施管线、管网的分布,追踪流量信息和运行质量监控;在决策方面,GIS 利用特有数据库,通过一系列决策模型的构建和比较分析,为国家的宏观辅助决策提供依据。

随着近些年来两项技术的不断进步,BIM+GIS 技术为建筑业的信息化、智能化发展提供了良好的支撑,将 GIS 与 BIM 进行技术融合,用 BIM 构建精细的三维建筑模型,对建筑物的内部信息进行分析和管理,这些高精度的 BIM 模型是 GIS 的重要数据来源,也为后期运营维护管理提供基本的模型数据及所属的多维信息数据,如图 3-14 所示。GIS 可作为智慧校园的神经中枢,能够管理区域空间,分析空间地理信息数据,从而使宏观的 GIS 数据和微观的 BIM 信息相结合,这样可实现两者之间的优势互补,再加以当前的物联网技术,可为智能建造构建一个很好的基础平台。



图 3-14 GIS 技术的发展

2. GIS 技术在建筑领域中的应用

GIS 技术在建筑领域中的应用如下:

(1) GIS 侧重于对建筑物地理信息的表达,多用于建筑物的地理位置定位和空间信息分析,能很好地展示建筑物的外部环境,确保信息的完整性,运用 GIS 技术可以呈现清晰的地理信息。

(2) 运用 GIS 技术对信息进行管理、分析与处理。GIS 可以提供整个空间的三维可视化分析功能,改善了建设空间上的数据表达与性能分析,为建造设计人员提供更加直观、科学的设计方式。

3.2.3 智能机械和设备

1. 智能施工机械简介

随着施工技术水平不断提高,建筑施工机械的智能化水平大幅提升。建筑施工机械的

质量,在一定程度上对于工期进度的快慢有着很大的影响。提高建筑施工机械的自动化程度,采用智能化控制模式,可以有效避免施工人员在狂风暴雨、夏日暴晒的环境进行施工,同时降低施工难度,增强施工人员安全性。

下面介绍几种已经用于实际工程的智能施工机械。

(1) 单塔多笼循环运行施工电梯

单塔多笼循环运行施工电梯,克服了高层建筑施工时配置多部电梯占用较多作业面等问题,在单个导轨架上挂设多台施工电梯梯笼,并设置旋转换轨机构,实现梯笼在高空能转 180° 变换轨道,从而成倍提高导轨架的运输能力,整体达到国际领先水平。见图 3-15。



图 3-15 单塔多笼循环运行施工电梯

循环电梯系统由附着系统、旋转换轨系统、导轨架和梯笼、供电系统、综合调度及安全保障系统组成,打破传统单个梯笼“直上直下”的运行方式,改为多个梯笼“左上右下”的循环运行方式,单个导轨架上同时运行多部梯笼,从而成倍提高导轨架的运输能力。

该项技术在多个方面进行了技术创新,实现了多部梯笼循环运行新模式,实现了导轨架地上运行和地下室检修功能分区;高精度旋转换轨技术,实现梯笼在高空旋转 180° 变换轨道;分段供电技术,解决多梯笼循环运行时的电压降等技术难题;群控调度系统技术,实现多部梯笼群体控制及高效调度;多级安全控制系统技术,保障多梯笼循环运行时的安全;微曲线梯架设计与应用技术,能适应超高层建筑外立面的变化,减少进站平台距离,节省材料成本,在提高电梯运行安全水平的同时节能环保,有效解决了超高层垂直运输难题。

智能化高精度旋转换轨技术,旋转换轨机构作为导轨架的一部分,由中心传力筒和外框旋转架体组成,伺服电机驱动外框架体绕着中心筒旋转,梯笼停靠在旋转换轨机构处由旋转换轨机构带动梯笼完成旋转变换轨道。旋转电控系统智能化程度高,可自动检错纠错、完成高精度转定位功能,可靠性高,可适应复杂苛刻的施工环境。



智能群控调度系统,最大化发挥新型循环施工电梯的运行潜能,提高功效,节约成本及资源;同时配套设置了数字云平台智慧控制中心,施工电梯无人驾驶、智能监控,保障电梯全运行;多重校验的平层定位装置,保证梯笼高度信息准确,采用两条单独供电线路的冗余设计和旋转不可动及旋转排他性设计,多维度确保电梯安全运转。

(2) 无人驾驶塔机

智能塔机控制系统以设备安全为核心,解决了塔机运行时的安全痛点。其中智能化模块包括防冲顶、防溜钩、防外挂、平稳起升、变幅防摇、回转平稳、倍率检测、钢丝绳乱绳检测、可视化系统、数据互联、数据分析、远程诊断等各项功能。见图 3-16。



图 3-16 无人驾驶塔机

在智能体感操控模式下,操作人员可在地面通过穿戴设备进行操控,其中操作手环可以根据操作人员手势的变化,控制塔机做出相应动作。此外还可以在与塔机互联的控制面板点击预设的点位或一键呼叫,实现塔机自动运行,平稳高效,且精确度可控制在毫米级别。

(3) 可变角度斜附式塔机

可变角度斜附式塔机基于高精度控制系统及角度变换装置,实现塔身倾斜,依靠无线通信完成远程吊装运行,具有“远吊幅、高效率、低成本”三大优势,成功解决了传统塔机在大角外立面高耸结构(大型桥塔、高层建筑等)施工过程中,吊幅覆盖范围局限、附着长度过长、施工效率降低、高空安装操作困难等弊端。见图 3-17。

设计具有转动铰与竖向滑动机构的特殊转换节,使得节段上部能够绕远端铰接点旋转,从而带动衔接标准节转动,完成塔身标准节变形动作。基于多体运动学仿真分析,形成的斜附式塔机运动轨迹参数,构建高精度控制系统,严格控制各油缸运行速度及转换节转动角度,实现双附着协同驱动相应塔身变形,自由段塔身始终保持垂直状态;同时,依靠全塔机监测系统,实时测定关键受力与运动参数,确保斜附式塔机精确安全运行。



图 3-17 可变角度斜附式塔机

2. 智能施工设备简介

智能设备改善了施工环境,在降低施工难度、提升施工安全方面取得重要突破。下面主要介绍一些已研发并运用于实际工程的智能设备。

(1) 混凝土施工机器人

混凝土施工机器人是自动化的混凝土施工设备,能完成布料、振捣、抹平等多项作业。从分类上看,按功能有布料、振捣、抹平、摊铺、养护等机器人;按应用场景则分地面、墙面、顶面施工机器人,见图 3-18。其技术原理主要依托自动化控制技术,凭借先进控制系统实现自主行走与按预设施工;传感器技术不可或缺,激光、雷达、视觉等传感器助其感知环境与自



图 3-18 混凝土施工机器人

身状态;智能算法赋予它智能识别、数据分析与自我学习能力。它的优势显著,能极大提高施工效率,凭借自动化不间断作业,远超人工速度,大幅缩短工期;保证施工质量,高精度施工减少误差,提升工程品质;还能降低劳动强度,让工人摆脱危险繁重工作,改善施工环境。在应用场景上,建筑工程中的住宅、商业建筑等,桥梁工程的桥墩、桥面,以及地下工程的地铁、隧道等混凝土施工均有它的身影。混凝土机器人推动着混凝土施工领域的变革。

(2) 钢筋绑扎机器人

钢筋绑扎机器人极大地改变了传统钢筋施工方式,通常由机械臂、控制系统、传感器以及绑扎执行机构组成,见图 3-19。机械臂赋予机器人灵活的操作能力,可模仿人工动作对钢筋进行抓取与定位。控制系统犹如其“大脑”,精确规划作业路径与流程,确保各环节有序进行。传感器则负责实时感知环境信息与钢筋位置,为精准操作提供数据支持。绑扎执行机构能快速完成扎丝缠绕、拧紧等绑扎动作。

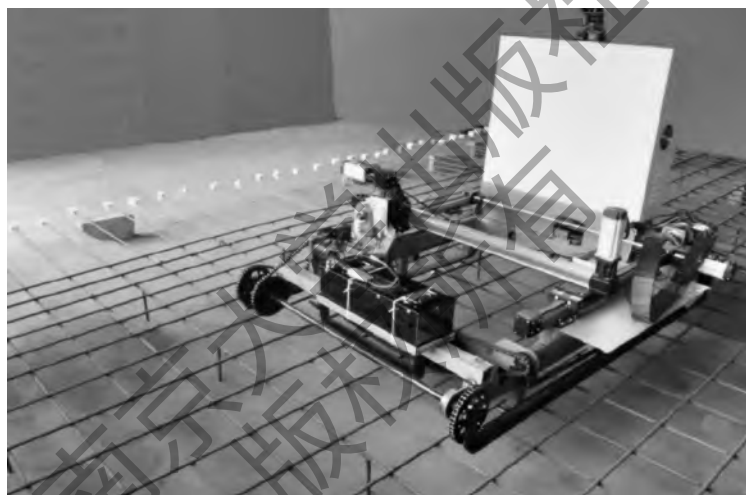


图 3-19 钢筋绑扎机器人

钢筋绑扎机器人能大幅提升施工效率。传统人工绑扎速度慢,而机器人可连续高效作业,极大缩短施工周期,加快工程进度。另外,钢筋绑扎机器人能保证施工质量稳定。机器人凭借精准的操作,能使绑扎点间距、扎丝拧紧程度等符合标准,避免人工绑扎的质量差异。还能降低人力成本与劳动强度。

钢筋绑扎机器人广泛适用于各类建筑工程,无论是高楼大厦的基础、主体结构施工,还是桥梁、隧道等基础设施建设中的钢筋绑扎环节,都能发挥重要作用。

(3) 智能抹灰机器人

智能抹灰机器人是建筑行业的创新设备,能自动完成墙面抹灰。它借助先进的传感器与计算机视觉技术,像激光雷达、摄像头等,实时感知墙面平整度、高度、倾斜度等状况,经智能算法分析处理后,自动规划最佳抹灰路径,见图 3-20。同时,依据墙面需求,自动调整抹灰刀的角度、压力、速度及厚度,确保抹灰均匀平整。该机器人作业高效,可 24 小时不间断,综合工效通常达 $300 \text{ m}^2/\text{天}$,是人工的 5—8 倍,极大缩短施工周期。同时其作业质量精准,能精准控制抹灰厚度与均匀度,垂平度一次合格率高,空鼓率低,墙面平整度远超人工。智

能抹灰机器人操作智能,拥有自主导航与安全避障功能,可自动识别并修复墙面不平整处、自动清洁刀具与设备,还能自动采集施工数据并生成详细报告,为施工管理与质量控制提供科学依据。目前广泛适用于住宅、酒店、公寓、写字楼等层高不超 5.5 米的建筑,能在除楼梯间和小于 2 m^2 房间外的室内混凝土、二次结构墙面上施工。



图 3-20 智能抹灰机器人

(4) 智能砌筑机器人

智能砌筑机器人依赖于多传感器融合技术来感知环境。激光雷达持续扫描周围空间,快速构建施工现场的三维地图,精确测量墙体位置、距离等信息,为后续操作提供空间定位基础。同时,视觉识别系统如同其“眼睛”,借助高清摄像头采集砖块及施工现场图像,利用图像识别算法,识别砖块的形状、纹理、尺寸,判断砖块是否有缺陷,还能精准定位已砌墙体的状态,如灰缝位置、平整度等。见图 3-21。



图 3-21 智能砌筑机器人



机器人内置高性能处理器和智能算法。它依据传感器收集的数据,结合施工图纸要求,计算出最优砌筑路径与砖块排列方式。例如,面对不同墙体长度、门窗洞口位置,算法会自动规划出合理的错缝方式,保证墙体结构稳固。同时,还会根据砖块抓取位置、放置位置以及灰浆涂抹量等因素,实时调整机械臂的运动轨迹。

在进行砌筑施工时,智能砌筑机器人高精度的机械臂就像灵活的工匠之手具备多个自由度,可在三维空间内精准移动。通过末端执行器,能稳定抓取砖块,并根据规划好的路径,将砖块准确放置在预定位置。同时,配套的灰浆喷涂系统能依据墙体需求,精确控制灰浆的涂抹量与涂抹位置,确保灰缝均匀饱满,保障墙体砌筑质量。凭借这些原理,智能砌筑机器人实现了高效、精准的自动化砌筑作业。

拓展学习



解码“天蝉”
住宅施工机器人

3. 智能穿戴设备简介

可穿戴设备的本质是智能可穿戴计算机。它指应用新兴技术赋予人们日常可穿戴产品智能化特性,将各种传感技术、监测识别功能和大数据等植入到可让人们佩戴的手表、手环、眼镜、服装等日常穿戴中,通过这些日常穿戴实现用户感知能力的拓展。根据穿戴部位的不同,可将智能穿戴设备分为智能手表类、智能手环类、智能眼镜头盔类、智能服装类和智能鞋类等。智能穿戴设备的功能具体可分为三个方面:

① 对人体参数进行读取

包括人的位置、心跳、血压、睡眠参数等,通过读取和记录人体参数,将数据通过物联网卡传输到平台层,平台层再对数据进行汇总分析,得出结论。

② 对外部环境进行读取

智能穿戴设备可以采集人体外部的环境温度、湿度和空气质量,甚至可以对农产品的信息进行读取,为我们的日常生活提供诸多的方便。

③ 与其他智能设备或平台互动

下面介绍施工现场常见的两种智能穿戴设备:智能安全帽和智能手环。

(1) 智能安全帽

智能安全帽是传统安全帽的智能化升级,融入现代科技赋予的多样功能。

从外观看,它与传统安全帽相似,但内部集成众多先进技术。内置定位模块,能实时精准定位佩戴者位置,在大型工地,方便管理人员掌握人员分布,紧急情况时快速救援。安全帽的碰撞检测功能是关键,当安全帽遭受剧烈撞击,传感器会迅速感知,通过无线通信模块向管理平台和周边人员报警,及时通知救援。智能安全帽还配备高清摄像头与麦克风,可拍摄作业现场画面、录制声音,一方面记录施工过程,为后续追溯提供依据;另一方面,远程专家能实时查看,给予指导。此外,智能安全帽还具备环境监测功能,可检测工地的温度、湿度、粉尘浓度、有害气体含量等,若指标异常,立即预警,提醒人员采取防护措施。有的智能安全帽还能集成健康监测功能,监测佩戴者的心率、血压等生理指标,保障人员身体健康。见图 3-22。



图 3-22 智能安全帽

(2) 智能手环

智能手环分为很多种,工地智能手环专为建筑工地打造,集多种关键功能于一身。它内置高精度定位芯片,如 GPS、北斗等,能帮助管理人员实时掌握佩戴者位置,在大型复杂工地合理调度,紧急时刻快速救援;配备各类传感器,可实时监测工人心率、血压、体温等生理数据,异常时即刻预警,保障工人健康;集成环境传感器,监测工地粉尘、有害气体浓度等,超标或工人靠近危险区域时,通过振动、发光或发声预警;设有紧急呼叫按钮,遇危险或突发状况,工人一键按下即可向管理人员和周边工友发送求救信号并附上位置信息;还能借助蓝牙或 NFC 技术与工地门禁、考勤设备交互,实现自动打卡,提升考勤管理效率;此外,管理人员可通过后台向手环推送任务信息,以振动、弹窗形式提醒工人,确保施工任务有序推进。见图 3-23。



图 3-23 智能手环



课堂互动

上网查阅资料,说说除了书本上列举的例子外,还有哪些种类的智能施工机械和设备。

单元综合考核

请同学们分为若干小组,每组在以上智能建造核心技术中选出最感兴趣的 1—2 个,上网查阅相关资料及国内外应用案例,做一个简单的 PPT 在班级分享。

南京大学出版社
版权所有