



智慧工地联合实验室  
哈尔滨工业大学·共友时代

# 智慧工地理论与应用

哈尔滨工业大学-共友时代智慧工地联合实验室 组织编写

王要武 陶斌辉 主编



中国建筑工业出版社

# 智慧工地理论与应用

哈尔滨工业大学 - 共友时代智慧工地联合实验室 组织编写

王要武 陶斌辉 主 编

柳 杨 满庆鹏 副主编

孙 磊 冯凯伦

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 ( CIP ) 数据

智慧工地理论与应用 / 王要武, 陶斌辉主编. — 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.5

ISBN 978-7-112-23551-3

I. ①智… II. ①王… ②陶… III. ①信息技术—应用—建筑工程—施工管理 IV. ①TU71-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 058250 号

责任编辑: 张礼庆

书籍设计: 京点制版

责任校对: 王宇枢

## 智慧工地理论与应用

哈尔滨工业大学-共友时代智慧工地联合实验室 组织编写

王要武 陶斌辉 主 编

柳 杨 满庆鹏 副主编

孙 磊 冯凯伦

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京点击世代文化传媒有限公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×960毫米 1/16 印张: 9¼ 字数: 176千字

2019年6月第一版 2019年6月第一次印刷

定价: 59.00元

ISBN 978-7-112-23551-3

(33815)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

建设工程管理是一项复杂的管理任务，在工程建设的全过程中都伴随着大量信息的产生、传递、加工、储存和处理。目前，大体量、复杂结构、超高层建筑的需求增加，对建设工程管理提出了更高要求。需要一种更加高效的信息收集、处理、决策手段以提高管理效率与质量。

随着建筑领域相关信息技术的高速发展，建筑业开始进入大数据、信息化、智能化时代。“智慧工地”源于利用信息技术提高建设工程管理水平的愿景，是目前信息技术在建设工程应用中的集中体现。对目前“智慧工地”理论和应用进行系统地总结，对于“智慧工地”未来在行业中的发展和应用有着十分重要的意义。

本书第一次较为全面地介绍了智慧工地的基本知识，系统地构建了智慧工地的理论体系，总结了智慧工地最新的相关技术，归纳了智慧工地最新的应用内容和方法，力求为建设管理类大学本科和研究生提供相对全面的智慧工地相关理论与技术知识，引发学生对智慧工地未来发展的思考，促进相关理论的研究和发展；也可为建设工程从业人员提供智慧工地在工程实践中的应用参考，帮助建设工程项目更加高效地实施智慧工地技术，推广智慧工地技术在工程实践中的应用。

全书共分6章。第1章介绍了智慧工地的内涵、发展背景和未来发展的方向；第2章提出了智慧工地的总体框架、模块关联与数据需求；第3章总结了智慧工地相关的关键技术，以及关键技术智慧工地总体框架中的功能；第4章介绍了实现智慧工地的相关基础设备，包括数据采集、信息传输、数据储存和分析运算设备；第5章介绍了目前智慧工地技术已经实施的工程管理应用功能；第6章介绍了智慧工地系统在工程项目、建筑企业和政府部门三个应用层次的配置方法。

本书由哈尔滨工业大学-共友时代智慧工地联合实验室王要武、陶斌辉主编并统稿，孙磊、冯凯伦协助统稿。具体编写分工为：于涛（第1章）；刘永悦

(第2章);满庆鹏、冯凯伦(第3章);柳杨(第4章);柳杨、张宇峰(第5章);张宇峰(第6章)。

本书既可作为高等学校建设管理类专业的教材,亦可供建筑业广大管理人员、工程技术人员参考。

本书作为黑龙江省高等教育教学改革项目和哈尔滨工业大学研究生教育教学改革研究项目“《智慧工地》课程开发与实验室建设”的系列研究成果之一,其出版得到了中国建筑工业出版社和张礼庆编辑的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。感谢所有为本书编写和出版而付出的人们。

限于时间和水平,本书或有错讹之处,敬请广大读者批评指正。

<b>第1章 导论</b> .....	1
1.1 智慧工地的内涵 .....	1
1.1.1 智慧工地的概念 .....	1
1.1.2 智慧工地的特征 .....	3
1.2 智慧工地实施的背景与意义 .....	3
1.2.1 智慧工地实施的背景 .....	3
1.2.2 智慧工地实施的意义 .....	4
1.3 智慧工地的发展 .....	5
1.3.1 智慧工地的发展历程 .....	5
1.3.2 智慧工地的发展趋势 .....	7
1.4 本章小结 .....	7
1.5 讨论与思考 .....	8
<b>第2章 智慧工地总体解决方案</b> .....	9
2.1 智慧工地的总体架构 .....	9
2.1.1 属性分析 .....	9
2.1.2 架构的相关理念 .....	14
2.1.3 常见架构 .....	19
2.2 智慧工地的数据需求分析 .....	23
2.3 智慧工地的模块关联分析 .....	24
2.3.1 模块的划分 .....	25
2.3.2 模块的关联 .....	25
2.4 本章小结 .....	28
2.5 讨论与思考 .....	29
<b>第3章 智慧工地关键技术</b> .....	30
3.1 BIM 技术 .....	30
3.1.1 BIM 的概念 .....	30

3.1.2	BIM 模型与 BIM 技术	33
3.1.3	BIM 技术与智慧工地	35
<b>3.2</b>	<b>物联网技术</b>	<b>38</b>
3.2.1	传感器技术	39
3.2.2	无线射频识别技术	41
3.2.3	图像与视频技术	44
3.2.4	定位技术	47
3.2.5	三维激光扫描	50
<b>3.3</b>	<b>信息传输与处理技术</b>	<b>52</b>
3.3.1	移动互联网技术	52
3.3.2	云计算	53
<b>3.4</b>	<b>智能分析相关技术</b>	<b>57</b>
3.4.1	机器学习	57
3.4.2	决策理论	57
3.4.3	计算机模拟	58
3.4.4	虚拟现实与增强现实技术	59
<b>3.5</b>	<b>本章小结</b>	<b>60</b>
<b>3.6</b>	<b>讨论与思考</b>	<b>61</b>
<b>第 4 章</b>	<b>智慧工地基础设施</b>	<b>62</b>
<b>4.1</b>	<b>数据采集设备</b>	<b>62</b>
4.1.1	人员信息采集设备	62
4.1.2	特种设备安全数据采集设备	71
<b>4.2</b>	<b>信息传输设备</b>	<b>75</b>
4.2.1	信息传输概述	75
4.2.2	DTU 数传终端	75
4.2.3	上网路由器	77
4.2.4	无线网桥	78
4.2.5	LoRa	79
4.2.6	NB-IoT	80
<b>4.3</b>	<b>数据储存设备</b>	<b>81</b>
4.3.1	磁盘阵列	81
4.3.2	云平台虚拟硬盘	82
4.3.3	监控级硬盘	87

4.4	分析运算设备 .....	88
4.4.1	嵌入式处理器 .....	88
4.4.2	云计算平台 .....	91
4.5	本章小结 .....	92
4.6	讨论与思考 .....	92
<b>第5章</b>	<b>智慧工地的功能应用 .....</b>	<b>93</b>
5.1	智慧工地整体解决方案与集成平台 .....	93
5.1.1	智慧工地整体解决方案 .....	93
5.1.2	智慧工地集成平台 .....	93
5.2	人员管理 .....	97
5.2.1	劳务实名制管理系统 .....	97
5.2.2	高速人脸识别智能闸机系统 .....	97
5.2.3	智能安全帽佩戴识别系统 .....	100
5.2.4	智能安全帽定位系统 .....	101
5.3	安全施工 .....	102
5.3.1	视频监控系统 .....	102
5.3.2	塔机安全监控系统 .....	103
5.3.3	吊钩可视化系统 .....	107
5.3.4	升降机监控系统 .....	109
5.3.5	卸料平台监控系统 .....	111
5.3.6	车辆出入监控系统 .....	112
5.3.7	周界入侵防护系统 .....	112
5.3.8	烟雾报警系统 .....	113
5.4	环境管理 .....	114
5.4.1	扬尘噪声监控系统 .....	114
5.4.2	喷淋控制系统 .....	115
5.5	质量安全监管 .....	117
5.5.1	安全检查 .....	117
5.5.2	巡更管理 .....	118
5.5.3	隐患随手拍 .....	118
5.5.4	节点验收 .....	119
5.5.5	质量安全移动巡检 .....	119
5.6	智慧展厅 .....	121
5.6.1	集中信息化展示 .....	121

5.6.2	VR 安全教育培训系统	121
5.7	本章小结	123
5.8	讨论与思考	124
<b>第 6 章</b>	<b>智慧工地应用层次系统配置</b>	<b>125</b>
6.1	项目层次	125
6.1.1	功能需求	125
6.1.2	系统配置	128
6.2	企业层次	131
6.2.1	功能需求	131
6.2.2	系统配置	132
6.3	政务层次	133
6.3.1	功能需求	133
6.3.2	设备配置	136
6.4	“智慧工地”的建设思路	136
6.4.1	满足现场工作，同时满足监管的需要	136
6.4.2	整体规划，分步实施	137
6.4.3	采取自建和购买服务相结合的方式建立系统	137
6.4.4	建立配套的岗位流程制度提供支撑	138
6.5	本章小结	138
6.6	讨论与思考	138
<b>参考文献</b>		<b>139</b>

# 第1章 导论

## 1.1 智慧工地的内涵

随着 BIM( Building Information Modeling, 建筑信息模型)、RFID( Radio Frequency Identification, 射频识别)、传感器网络、物联网等 ICT( Information and Communication Technology, 信息和通信)技术在建设工程领域的快速发展及广泛应用, 建筑业已经进入大数据、信息化、智能化时代。建设工程项目中蕴藏着大量的数据资源, 以三峡工程、青藏铁路、京沪高铁等大型工程为例, 与其相关的数据既涉及与项目前期规划、工程设计、现场施工等过程相关的内部数据, 又涉及与环境保护、政策法规、干系人诉求等相关联的外部数据; 既涉及 RFID、无人机等手段可以采集的工程物理数据, 又涉及通过互联网等形成的如民众诉求、舆论导向等虚拟世界数据; 既涉及结构化的数据, 又涉及半结构化和非结构化的数据。如何分析这些多源异构数据对建设工程项目的潜在影响, 对表征建设工程技术、组织、资源、环境等异质要素的数据进行有效集成并提取出有价值的信息用于建设过程的决策与管理中, 是建设项目管理者所面临的一个重要课题。

智慧工地理论为这一问题的解决提供了思路。智慧工地是将如云计算、大数据、物联网、移动互联网、人工智能、建筑信息模型等先进信息技术与建造技术融合, 充分集成项目全生命周期信息, 服务于施工建造, 实现建造过程各利益相关方信息共享与协同的新型信息管理方式。与传统建设项目信息管理技术相比, 智慧工地能够充分实现信息的有效利用与决策支持, 为项目管理者与利益相关者创造价值, 实现项目参与者的有效协作, 对项目绩效具有显著提高作用, 其发展前景巨大。

### 1.1.1 智慧工地的概念

学术界对于智慧工地的定义尚未达成共识, 学者们对于智慧工地的时空范围以及核心技术仍然存在着较为激烈的争论。

就时间维度而言, 窦安华等提出, 智慧工地是一种崭新的工程全生命周期管理理念, 以可控化、数据化以及可视化的智能系统对项目进行管理进行全方位立体化



的实时监管，并根据实际做出智能响应。从这一观点出发，智慧工地应该贯穿工程项目全生命周期各阶段。张天文则认为智慧工地旨在运用信息化手段围绕施工过程进行管理，建立互联协同、智能生产、科学管理的施工项目信息化生态圈，并将此数据在虚拟现实环境下与物联网采集到的工程信息进行数据挖掘分析，提供过程趋势预测及专家预案，实现工程施工过程可视化智能管理。这一定义将智慧工地的时间维度定位在施工过程。

就空间维度而言，张艳超认为，智慧工地应该为建设集团、施工单位、政府部门、设备运维公司、劳务公司等提供信息化解决方案、智慧管理和智慧服务，实现工程项目业务流和各类监控源数据流的有效结合和深度配合，达到提高施工质量、安全、效率，促进协同办公，提升建筑施工管理、城市管理、行业管理等目的。从这一定义出发，智慧工地的空间作用范围应贯穿工程项目各个场景，甚至提升至城市管理的高度。而万晓曦则指出，智慧工地指的是工地信息化，是一种结合“互联网+”、云计算、大数据、物联网的全新施工现场管理技术，是建筑工程领域一种崭新的工程全生命周期管理理念，可以根据建筑工程施工现场的实际需求，建立相互协同、安全监控、智能化施工、信息共享的信息化管理平台。这一观点将智慧工地的空间作用范围限定在施工现场。

就智慧工地涉及的技术而言，毛志兵指出，智慧工地通过对先进信息技术的集成应用，并与工业化建造方式及机械化、自动化、智能化装备相结合，成为建筑业信息化与工业化深度融合的有效载体，实现工地的数字化、精细化、智慧化生产和管理，提升工程项目建设的技术和管理水平。容建华等认为，智慧工地是指构建具有PC端和移动端的“智慧工地云平台”，对施工工地涉及的“人、机、料、法、环”等方面实现信息化的有效监管。李霞等指出，智慧工地是将如云计算、大数据、物联网、移动互联网、人工智能、建筑信息模型（BIM）等先进信息技术与建造技术融合，辅助现场信息采集，实现建造过程各利益相关方信息共享与协同的新型信息管理方式。

通过对“智慧工地”概念的整理，可以认为智慧工地是建筑业从经验范式开始，经过理论范式、计算机模拟范式发展到第四范式的典型。它是以施工过程的现场管理为出发点，时间上贯穿工程项目全生命周期，空间上覆盖工程项目各情境，借助云计算、大数据、物联网、移动互联网、人工智能、建筑信息模型等各类信息技术，对“人、机、料、法、环”等关键因素控制管理，形成的互联协同、信息共享、安全监测及智能决策平台，共同构建而成的工程项目信息化系统。



### 1.1.2 智慧工地的特征

通过对相关研究及实际应用状况分析,可以得出目前“智慧工地”具有以下4个特征:

(1) 专业高效化。以施工现场一线生产活动为立足点,实现信息化技术与生产专业过程深度融合,集成工程项目各类信息,结合前沿工程技术,提供专业化决策与管理支持,真正解决现场的业务问题,提升一线业务工作效能。

(2) 数字平台化。通过施工现场全过程、全要素数字化,建立起一个数字虚拟空间,并与实体之间形成映射关系,积累大数据,通过数据分析解决工程实际的技术与管理问题。同时构建信息集成处理平台,保证数据实时获取和共享,提高现场基于数据的协同工作能力。

(3) 在线智能化。实现虚拟与实体的互联互通,实时采集现场数据,为人工智能奠定基础,从而强化数据分析与预测支持。综合运用各种智能分析手段,通过数据挖掘与大数据分析等手段辅助领导进行科学决策和智慧预测。

(4) 应用集成化。完成各类软硬件信息技术的集成应用,实现资源的最优配置和应用,满足施工现场变化多端的需求和环境,保证信息化系统的有效性和可行性。

## 1.2 智慧工地实施的背景与意义

### 1.2.1 智慧工地实施的背景

1956年,“人工智能”这一概念在美国西部计算机联合大会被首次提出,其后经历了符号主义、连接主义两次发展高潮。如今的第三次发展浪潮,以大数据、虚拟现实、物联网、机器学习、云计算、移动互联网等ICT技术为支撑,以智能算法、卷积神经网络为核心,通过深度学习方式使得人工智能的智慧达到一流专家水平。2015年,我国政府正式印发《中国制造2025》,提出要推动高科技人才培养与自主创新研发,走可持续发展道路,其核心是通过智能制造技术进一步优化生产作业流程,实现精益生产与资源集约,从而推动我国从“制造大国”向“制造强国”转变,这标志着人工智能逐步融入我国各经济领域,成为未来发展的主流趋势。

智慧工地是人工智能技术在建筑业生产作业过程中的集中体现。从技术层面而言,智慧工地能够充分集成BIM、RFID、虚拟现实、传感器网络、可穿戴设备等自动化、机械化、信息化设备,是一种实现信息技术与建造技术充分融合的



手段；从管理层面而言，智慧工地能够对建设项目各干系人进行有效协调，从建设项目大数据中提取出有价值的知识，从而支持管理决策，是一种全新的数据导向型建设项目管理模式。在过去的30年，建筑业基本实现了从手工到机械化、从机械化到信息化的两大转变，为智慧工地理论的提出和发展奠定了坚实基础。

2017年2月21日，国务院办公厅正式发布了《国务院办公厅关于促进建筑业持续健康发展的意见》（国办发〔2017〕19号），明确提出推进建筑产业现代化，其核心是借助工业化思维，推广智能和装配式建筑，也就是通过标准化设计、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，实现建筑产品像制造飞机、汽车一样的装配化生产制造，推动建造方式创新，提高建筑产品的品质。在此背景下，智慧工地成为未来建筑业发展的主流趋势。

## 1.2.2 智慧工地实施的意义

一直以来，建筑业作为传统产业，改造与提升的任务十分艰巨，信息化建设是推动建筑业转变发展方式的重要基础，也是建筑业企业提高核心竞争力、整合现有资源的有效手段。在互联网时代，建筑业需要依靠信息化升级建造过程。随着传感技术、移动互联网和宽带网络的普及，信息技术正在逐步改变着人们的思维方式、行为模式、居住场所，同时也为建筑业带来更多可能。智慧工地是信息化、智能化理念在工程领域的具体体现，是一种崭新的工程全生命周期管理理念，其核心价值主要体现在以下三大方面：

### 1.2.2.1 智慧工地是建造方式的创新

智慧工地是现代化生产方式在建筑施工领域应用的具体体现，是建筑业信息化与工业化融合的有效载体，是建立在高度信息化基础上的一种支持对人和物全面感知、施工技术全面智能、工作互通互联、信息协同共享、决策科学分析、风险智慧预控的新型施工手段。它聚焦工程施工现场，紧紧围绕人、机、料、法、环等关键要素，综合运用建筑信息模型（BIM）、物联网、云计算、大数据、移动计算和智能设备等软硬件信息技术，与施工生产过程相融合，对工程质量、安全等生产过程以及商务、技术等管理过程加以改造，提高工地现场的生产效率、管理效率和决策能力等，实现工地的数字化、精细化、智慧化生产和管理。

### 1.2.2.2 智慧工地是智慧城市的重要组成部分

未来，这些充满智慧的建筑进一步接入城市信息系统后，又将作为智慧城市的重要组成部分。智慧建造实现建筑全生命周期的智慧化，让企业各方受益，

实现绿色、集约、精益的管理。让工程质量提升,大幅减少资源损耗和降低碳排放,降低成本、减少浪费、减少返工、加快进度。随着我国城市化步伐的加速,城市的生态文明建设与可持续发展显得越来越重要,如何在城市建设中“推进绿色发展、循环发展、低碳发展”和“建设美丽城市”乃至美丽中国都对城市建设提出了新的考验。智慧城市是加强现代科学技术在城市规划、建设、管理和运行中的综合应用,整合信息资源,提升城市管理能力和服务水平,促进产业转型,让人们的生活更美好。作为城市重要组成部分的基础设施和建筑,如何做到智慧,是城市能否智能化和人们在城市中生活能否更美好的关键环节。因此智慧城市要求以“绿色、智能、宜居”的智慧建筑来满足整个城市的可持续发展 and 智慧运行。

### 1.2.2.3 智慧工地能够推动建筑产业模式根本性变化

智慧工地能够有效地优化管理和服务流程,推进产业技术创新和智能化产业发展,实现建设过程全生命周期智慧化,并有助于推动企业自主创新能力提升,增强核心竞争力和技术创新,进一步改善我国建筑业资源浪费这一严重问题,实现建筑业绿色生态化。同时,智慧工地还带有一定社会效益,可以改善民生,通过构建智慧家庭、智慧住宅等实践来为市民提供一个全新的智能化宜居环境,改善全社会的生活面貌。传统的产业模式逐渐转换为以信息为主现代化产业模式,生产效率也将大大提高,产业结构得到优化。

## 1.3 智慧工地的发展

### 1.3.1 智慧工地的发展历程

#### 1.3.1.1 基于人工智能应用程度划分的智慧工地的发展阶段

“智慧工地”的核心是“智慧”二字,“智慧”有程度上的差异,有“小智慧”“大智慧”的说法。根据人工智能技术的应用程度,可以将“智慧工地”的发展定义为“感知”“替代”“智慧”三个阶段。

(1) 感知阶段。就是借助人工智能技术,起到扩大人的视野、扩展感知能力以及增强人的某部分技能的作用。例如借助物联网传感器来感知设备的运行状况、感知施工人员的安全行为等,借助智能机具增强施工人员的技能等。我国目前的“智慧工地”主要就处于这个阶段。

(2) 替代阶段。就是借助人工智能技术,来部分替代人,帮助完成以前无法



完成或风险很大的工作。例如，现在正研究和探索智能砌砖机器人、智能焊接机器人等。由于它们的出现和应用，可能某些施工场景将实现全智能化的生产和操作。当然，这种替代是基于给定的应用场景，并假设实现的条件、路径来实现的智能化，智能替代边界条件是严格框定在一定范围内的。

(3) 智慧阶段。就是随着人工智能技术不断发展，借助其“类人”思考能力，大部分替代人在建筑生产过程和管理过程的参与，由一部“建造大脑”来指挥和管理智能机具、设备，完成建筑的整个建造过程，这部大脑具有强大的“知识库”管理和强大的自学能力，也就是“自我进化”能力。人转变为监管“建造大脑”的角色。

上述“智慧工地”的三个阶段，是随着人工智能技术的研发和应用不断发展而循序渐进的过程，不可能一步实现。这需要在“感知阶段”就做好顶层设计工作，在总体设计思路的指导下开展技术的应用和研发，特别要注重建筑信息模型(BIM)、互联网、物联网、云计算、大数据、移动计算和智能设备等软硬件信息技术的集成和应用。只有这样，才能在应用中不断推动施工现场的自动建造、智能化建造以及新型管理模式下的智慧协同，实现建造方式的彻底转变。

### 1.3.1.2 基于普及和应用程度划分的智慧工地的发展阶段

基于“智慧工地”的普及和应用程度，可以将智慧工地的发展定义为“初级”“中级”“高级”三个阶段。

(1) 初级阶段。企业和项目积极探索以 BIM、物联网、移动通信、云计算、智能技术和机器人等相关设备等为代表的当代先进技术的集成应用，并开始积累行业、企业和项目的大数据。在这一阶段，基于大数据的项目管理条件尚未具备。

(2) 中级阶段。大部分企业和项目已经熟练掌握了以 BIM、物联网、移动通信、云计算、智能技术和机器人等相关设备等为代表的当代先进技术的集成应用，积累了丰富的经验，行业、企业和项目大数据积累已经具有一定规模，开始将基于大数据的项目管理应用于工程实践。

(3) 高级阶段。技术层面以 BIM、物联网、移动通信、大数据、云计算、智能技术和机器人等相关设备等为代表的当代先进技术的集成应用已经普及，管理层面则通过应用高度集成的信息管理系统和基于大数据的深度学习系统等支撑工具，全面实现“了解”工地的过去，“清楚”工地的现状，“预知”工地的未来，对已发生或可能发生的各类问题，有科学的决策和应对方案等“智慧工地”发展目标。

“智慧工地”从初级阶段到高级阶段的发展需要较长的一段时期，有专家预

测“在未来10年或更长时间，将从数字化到智能化转变的时代”。目前，正是从数字化向智能化发展的过渡期，也可以说是“智慧工地”发展的初期。

### 1.3.2 智慧工地的发展趋势

近年来，随着科学技术的进步，智慧工地的理论研究迈上了一个新纪元。其中一个重要的趋势就是BIM+。BIM+是指在BIM技术的应用过程中，与其他先进技术相集成的一种形式。例如BIM+AI( Artificial Intelligence, 人工智能)、BIM+VR( Virtual Reality, 虚拟现实)、BIM+AR( Augmented Reality, 增强现实)等。BIM+不是BIM和其他技术的简单组合，而是要把包括BIM技术在内的两种或多种技术有机地融合起来，发挥出 $1+1>2$ 的效果。

智慧工地的理论研究方向还应该包括对相关智能算法的优化。智能算法的改进与优化可以提升数据信息的吞吐量，提高管理者对工地控制的效率。例如，曾经广泛应用的神经网络算法正在被卷积神经网络算法逐步替代，这一改进拓展了图像识别技术在智慧工地领域的应用。良好的算法不仅仅能够提高数据处理的效率，还能够大大扩展智慧工地的应用范围。

此外，智慧工地理论的发展还必须与现有项目管理知识体系形成有机融合。依照美国项目管理学会(PMI)提出的项目管理知识体系(PMBok)，工程项目的知识领域大致分为项目整合管理、项目范围管理、项目进度管理、项目成本管理、项目质量管理、项目人力资源管理、项目沟通管理、项目风险管理、项目采购管理和干系人管理十项。智慧工地+PMBok成为未来发展趋势，例如，智慧工地+项目范围管理，智慧工地+项目沟通管理。只有形成良好的知识整合，才能实现智慧工地技术在时空上的贯穿。

智慧工地理论的发展趋势还应该包括复杂环境下项目管理范式研究。随着工程规模不断扩大、技术不断更新、干系人参与方式逐渐多样化，工程项目管理者正面对日益复杂的项目环境，复杂项目管理成为一个亟待解决的工程难题。智慧工地理论为复杂项目管理提供思路，通过信息技术实现项目全景式分析，能够更好地应对复杂项目管理问题。

## 1.4 本章小结

随着大数据、互联网、物联网等ICT技术的快速发展与广泛应用，智慧工地成为建筑业实现智能化、数字化的有效途径，为从业者实现精益建造、信息化管理提供了有效方法，本章起到概述作用，首先对智慧工地内涵与外延展开



分析,揭示其本质特征;然后介绍智慧工地理论的时代背景,对其理论与实践意义进行剖析;最后,基于对现阶段研究成果的系统梳理,揭示智慧工地发展历程与趋势。

## 1.5 讨论与思考

- (1) 什么是智慧工地?
- (2) 智慧工地有哪些特征?
- (3) 智慧工地的实施意义有哪些?
- (4) 智慧工地与智慧城市关系如何?
- (5) 智慧工地对建筑业会产生哪些影响?
- (6) 智慧工地经历了哪些发展历程?
- (7) 智慧工地的发展趋势如何?