

智能建造应用与发展

马智亮

教授、博士生导师

清华大学土木工程系

交流大纲

1. 引言
2. 智能建造的演变
3. 智能建造的应用热点
4. 智能建造的发展趋势
5. 结语

1. 引言

- 国家层面对智能建造高度重视

2020年7月

住建部等13部委 《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》

明确2035年迈入智能建造世界强国行列

2020年9月

住建部等9部委 《关于加快新型建筑工业化发展的若干意见》

明确提出：推进发展智能建造技术

• 住建部信息中心组织编辑出版行业发展报告

2021年正式出版

由专家多轮讨论形成撰写提纲

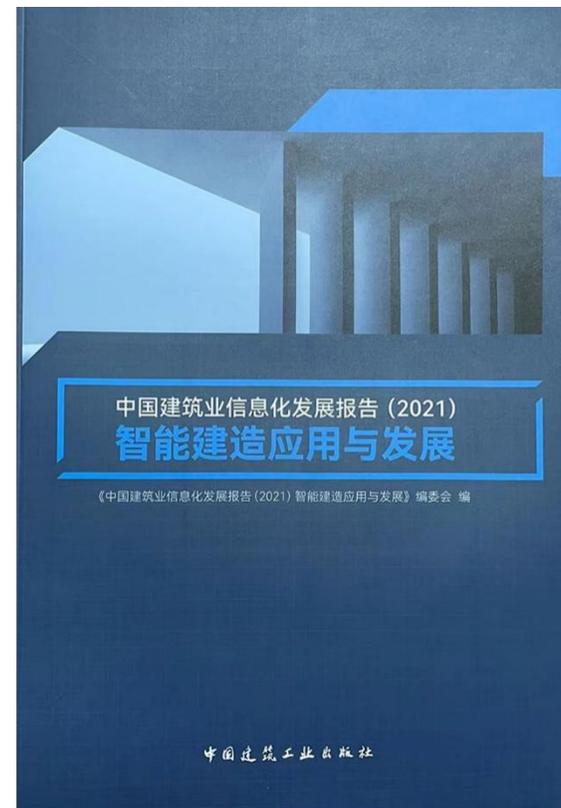
针对行业状况进行了问卷调查

邀请做得最好的单位的专家执笔

主编多轮审查把关

广泛征求行业意见后进行修改

既包含理论，也包含应用案例



- 什么是智能建造？

在建筑工程设计、生产、施工等各阶段，
通过应用智能化系统，
提高建造过程智能化水平，并提高经济和社会效益
的建造模式

- 什么是智能化系统和智能化水平？

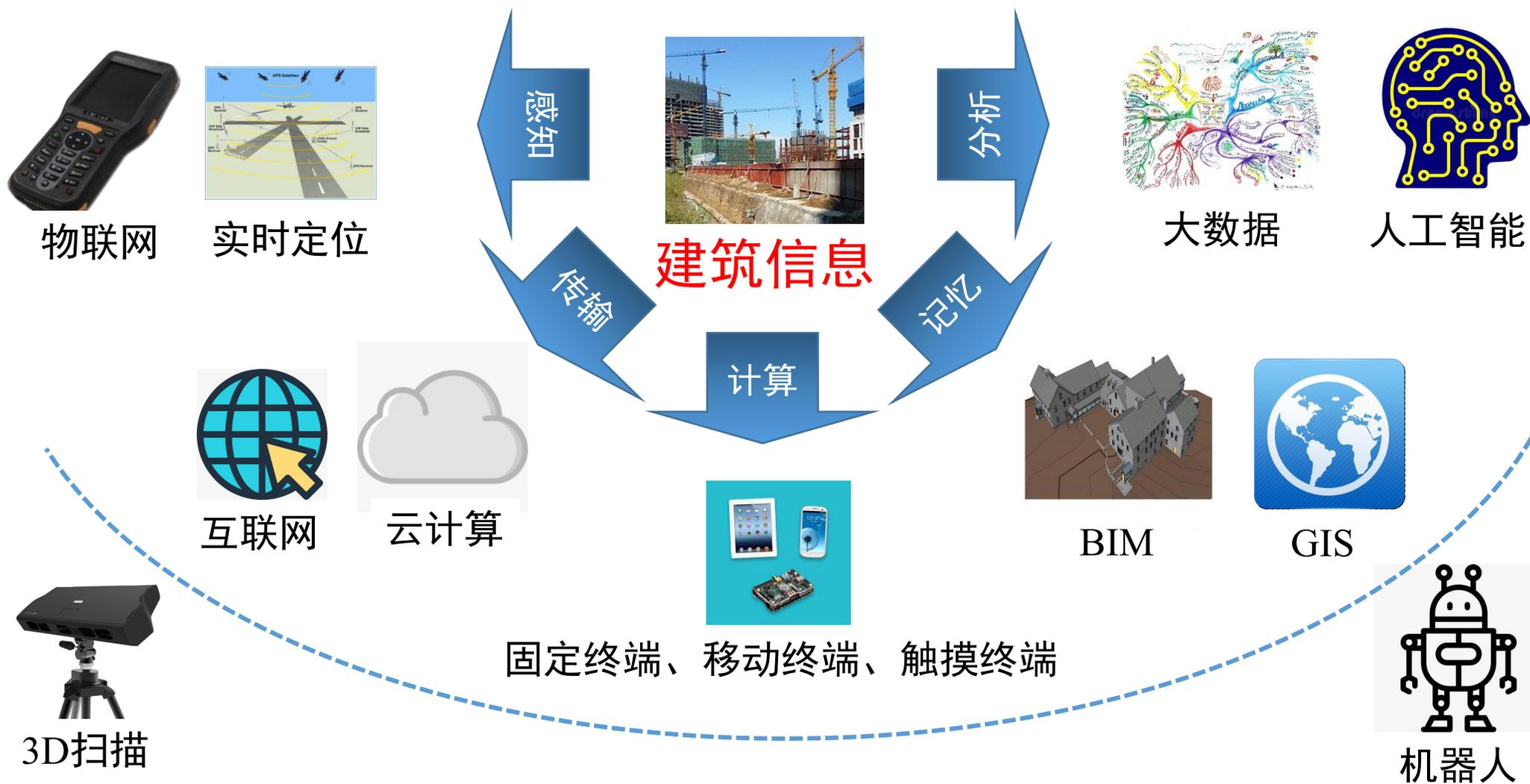
任何基于智能技术和相关技术的
计算机系统，

如果拥有人类才具有的能力，

并用于取代人或减少对人的需求，

那么该系统称之为智能化系统

智能化水平反映取代人或减少对人的需求的程度



目前建筑行业热点信息技术：智能技术和相关技术

- 智能化系统的分类

- 按系统类别分

- 软件系统：例如，项目管理决策支持系统

- 硬件~：例如，外墙喷涂机器人

- 按系统的性质分

- 技术类系统：例如，外墙喷涂机器人

- 管理类~：例如，项目管理决策支持系统

- 智能化系统的分类（续）

按智能化深度分

计算智能类系统

分析智能类~

联想智能类~

综合智能类~

在下一部分中将展开介绍



- 把握智能建造有必要关心的问题

智能建造的演变

了解“从哪里来？”

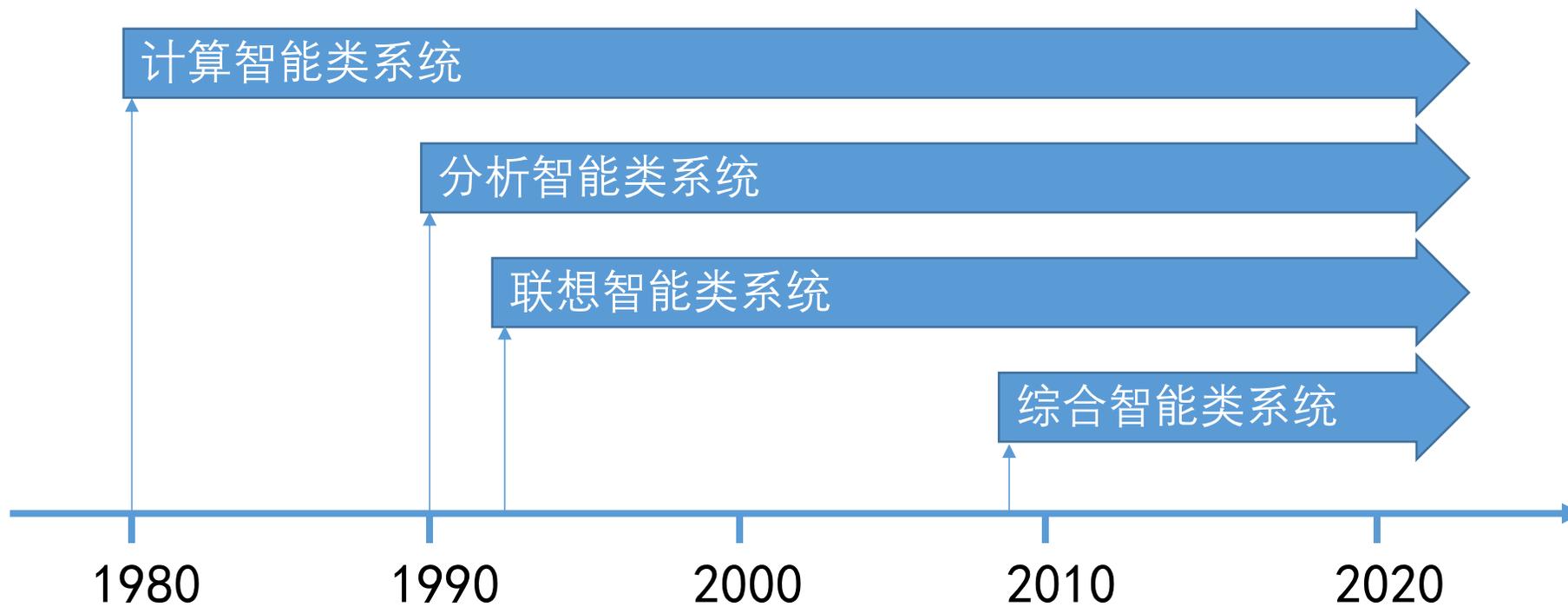
智能建造的应用热点

了解“目前的状况如何？”

智能建造的发展趋势

了解“到哪里去？”

2. 智能建造的演变



建造行业智能化系统的演变过程

- 计算智能类系统

起源于上世纪80年代

利用计算机的**计算能力**

体现为在建筑设计中利用**CAD技术**

进行设计计算、分析和绘图

设计人员可以在短时间内针对建筑进行各种分析

从而大大缩短设计周期，同时提高设计质量



- 分析智能类系统

起源于上世纪90年代

利用计算机的分析能力和判断能力

体现为在建筑企业管理信息系统中

进行数据统计等分析，用于辅助决策

提高决策的科学性

也包括一些自动化设备，如早期建筑机器人

提高工作效率



- 联想智能类系统

起源于上世纪90年代的GIS技术

以及进入本世纪以来BIM技术应用

使系统可用于记忆带语义的空间信息

不仅可直观展示设计结果、生产和施工过程，以及运维管理操作空间，

而且使系统可以进行空间分析和工程量计算

相当于人的记忆和计算能力在计算机系统中同时得到实现

体现在用于虚拟建造和精细化管理





• 综合智能类系统

起源于过去10多年来对计算机多方面能力的综合应用

信息一般采用传感器自动采集，

通过软件系统进行**大数据分析**，

或者利用大数据，进行**人工智能学习**，

体现在用于**施工安全检测系统**，**施工机器人系统**，**集成化施工平台**

甚至可与GIS技术、BIM技术以及三维激光扫描技术相结合，

实现更具真实感的**人机协同和更高水平管理**



3. 智能建造的应用热点

- 智能建造的应用热点的定义和分类

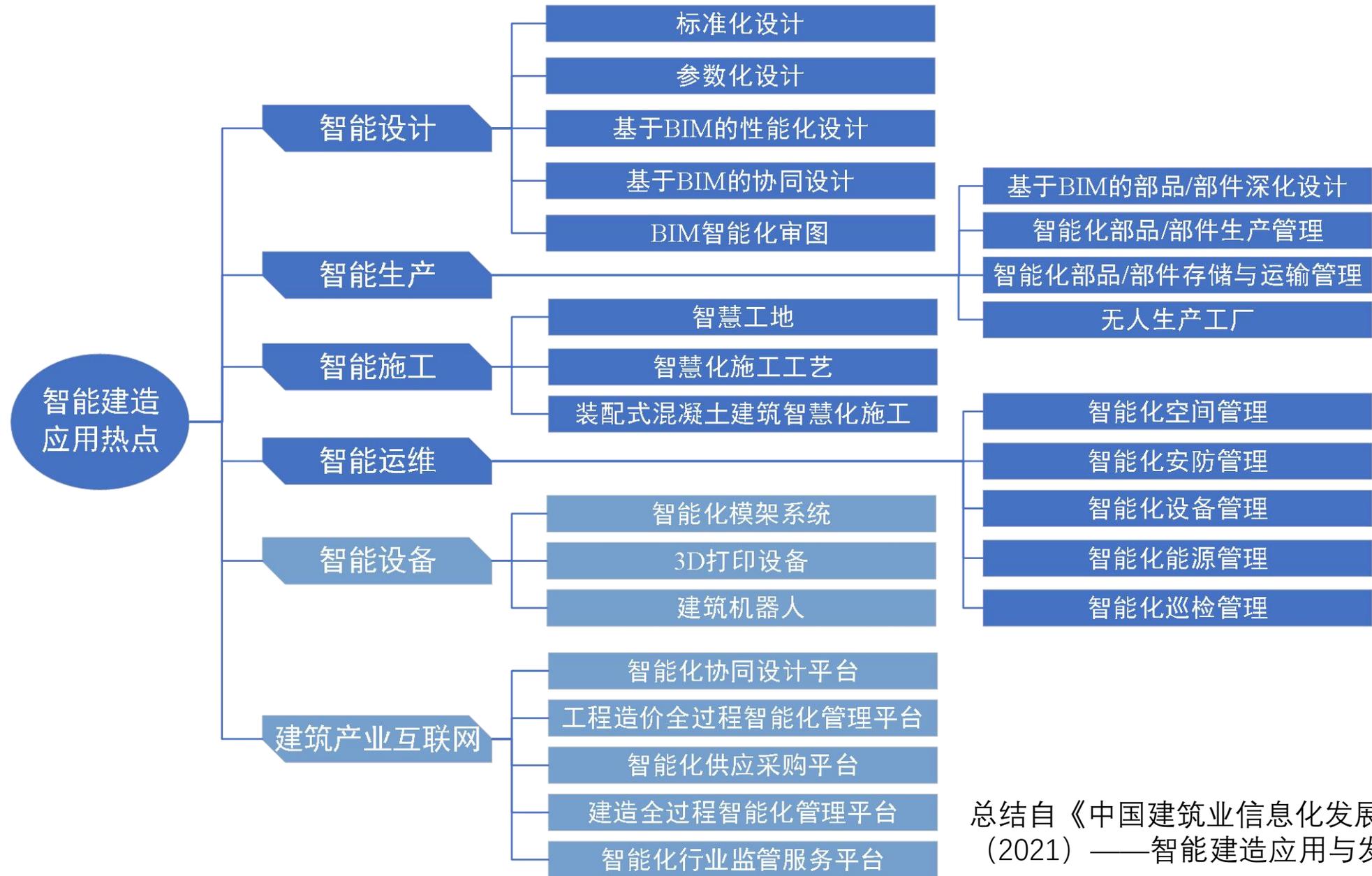
在建造领域已成为热点的、典型的智能化系统应用场景
按应用阶段分

智能设计、智能生产、智能施工

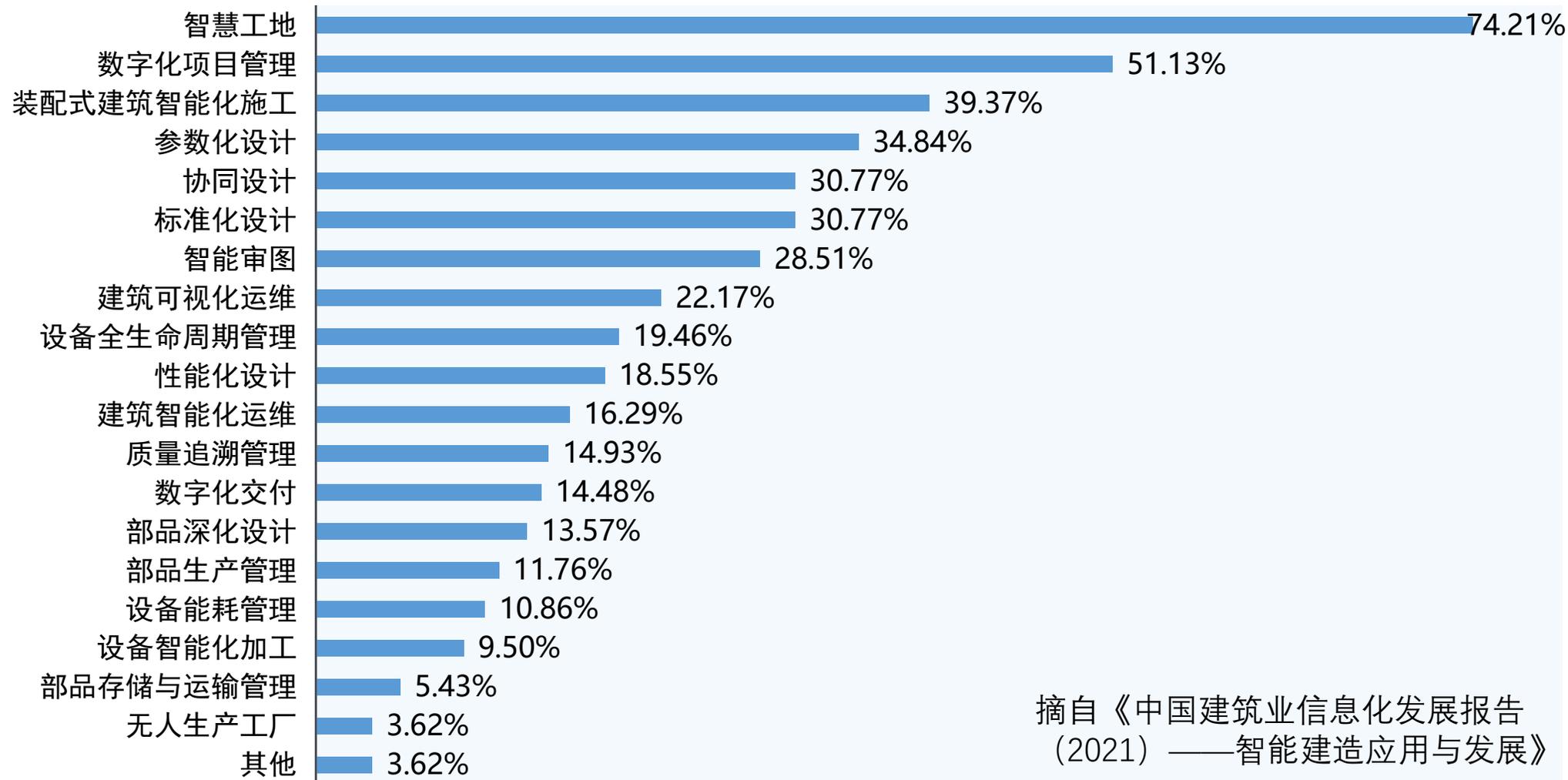
另外

因为建筑企业也涉及到运维阶段：智能运维

1个以上阶段的共性应用场景：智能设备、建筑产业互联网
共6个方面



总结自《中国建筑业信息化发展报告
(2021) ——智能建造应用与发展》



被访对象所在单位目前在关键业务场景实现的智能化应用情况
(有效问卷221份：施工单位占57.01%；建设、开发单位占20.81%，其他占22.18%)

案例1 基于互联网+的预制构件生产优化管理

• 研究背景

目前预制构件厂生产手段落后，管理方式粗放



质量信息反馈栏					
时间	名称	来源	事由	处置	责任人
2016.5.1	预埋件	质检	预埋件位置偏移	通知施工单位，要求整改	王师傅
2016.5.2	预埋件	质检	预埋件位置偏移	通知施工单位，要求整改	王师傅
2016.5.3	预埋件	质检	预埋件位置偏移	通知施工单位，要求整改	王师傅
2016.5.4	预埋件	质检	预埋件位置偏移	通知施工单位，要求整改	王师傅
2016.5.5	预埋件	质检	预埋件位置偏移	通知施工单位，要求整改	王师傅
2016.5.6	预埋件	质检	预埋件位置偏移	通知施工单位，要求整改	王师傅
2016.5.7	预埋件	质检	预埋件位置偏移	通知施工单位，要求整改	王师傅
2016.5.8	预埋件	质检	预埋件位置偏移	通知施工单位，要求整改	王师傅
2016.5.9	预埋件	质检	预埋件位置偏移	通知施工单位，要求整改	王师傅
2016.5.10	预埋件	质检	预埋件位置偏移	通知施工单位，要求整改	王师傅

成品出厂检查记录表														
项目名称	规格	数量	检查日期	检查人员	检查内容	检查结果	备注	出厂日期	出厂地点	出厂数量	出厂质量	出厂检验	出厂合格证	出厂日期
DR101	2	2	2016.6.2	王师傅	检查预埋件位置	合格								
DR102	2	2	2016.6.2	王师傅	检查预埋件位置	合格								
DR103	2	2	2016.6.2	王师傅	检查预埋件位置	合格								
DR104	2	2	2016.6.2	王师傅	检查预埋件位置	合格								
DR105	2	2	2016.6.2	王师傅	检查预埋件位置	合格								
DR106	2	2	2016.6.2	王师傅	检查预埋件位置	合格								
DR107	2	2	2016.6.2	王师傅	检查预埋件位置	合格								
DR108	2	2	2016.6.2	王师傅	检查预埋件位置	合格								
DR109	2	2	2016.6.2	王师傅	检查预埋件位置	合格								
DR110	2	2	2016.6.2	王师傅	检查预埋件位置	合格								

工厂PC构件成品质量检查记录台账	
(预应力叠合板)	
1跨	
2016年 月	

- 关键问题

工作效率低，不能有效利用产能，进度可控性差

- 解决思路

充分利用互联网+（BIM、物联网、移动终端等）及优化算法，
通过研制预制构件生产过程优化管理系统，
支持实现

生产过程的最优化决策

对生产实时的跟踪和管理

127.0.0.1:8080/x5/UI2/ x

127.0.0.1:8080/x5/UI2/v_portal/pc/index.w?device=pc#!(\$model/UI2/MySystem/OrderManage/process/OrderManage/mainActivity.w)

预制构件生产过程优化管理系统

已打开功能 待办任务 11 刷新

订单信息管理

订单基本信息

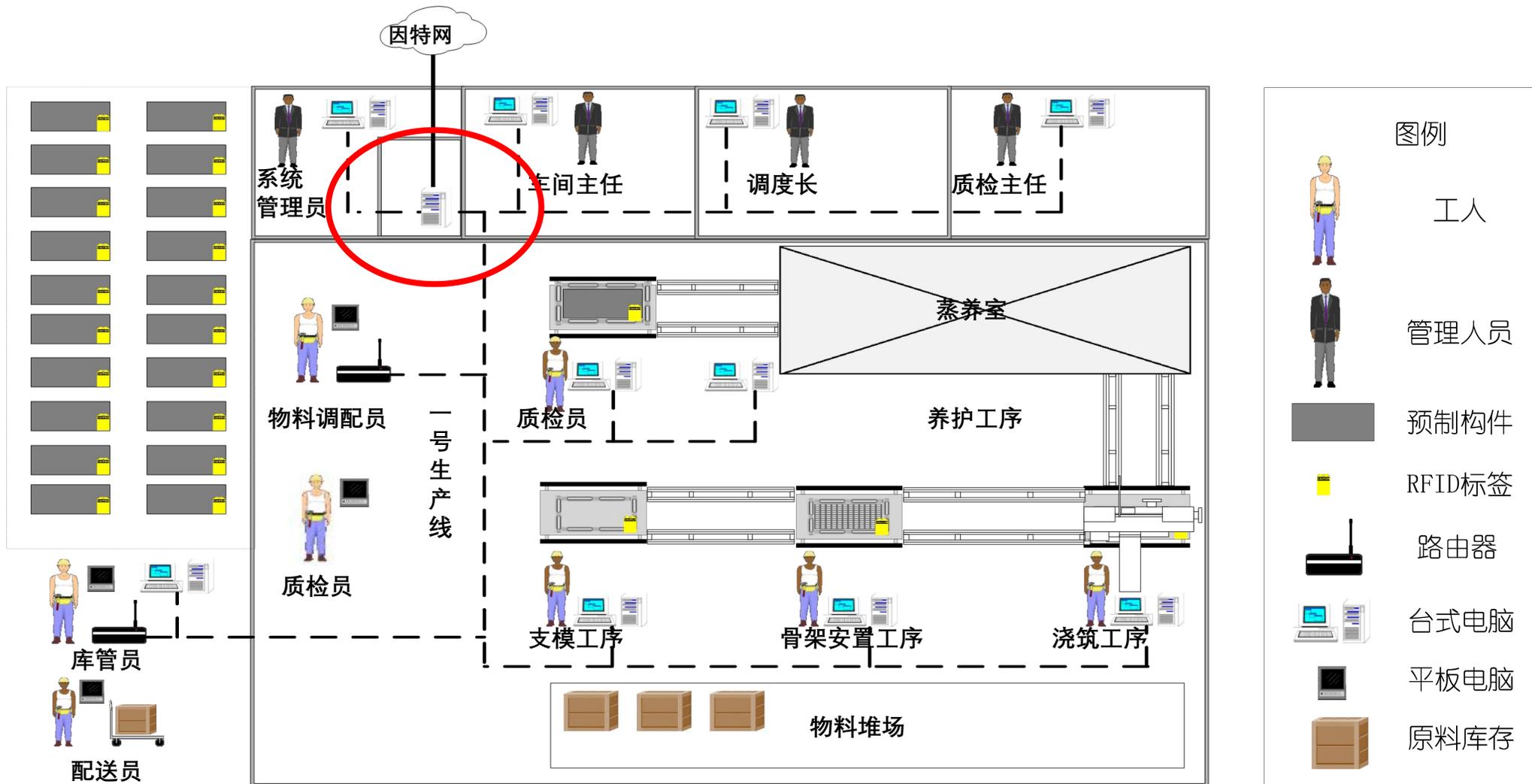
+ 新增 - 删除 保存 刷新 < 第一页 < 上页 > 下页 > 最后一页

生成配送任务 生成质检任务

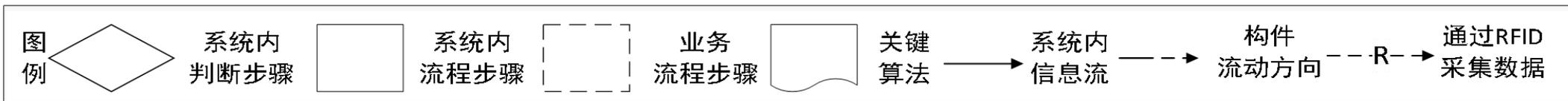
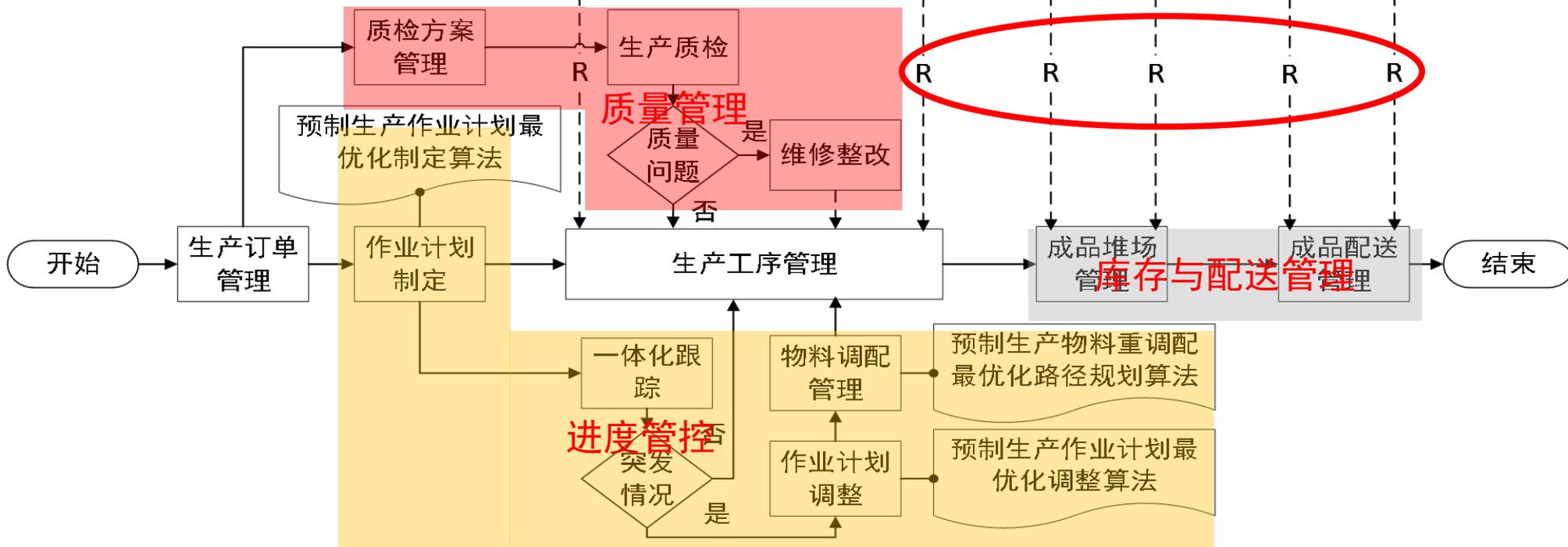
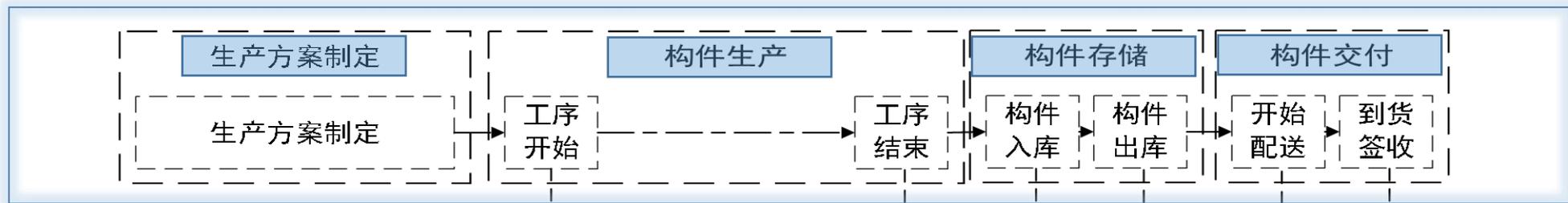
订单编号	订单名称	创建日期	客户编号	客户名称	客户地址	联系电话
02	湖畔家园#10楼	2016-04-15	WK01	万科	合肥合淮路大杨镇十张村	6572364
01	五和万科长阳天地项目#12楼	2016-04-05	WK01	万科	房山长阳镇城铁篱笆房站	6351095

项目模型

863计划项目研究成果：基于BIM的预制构件生产过程优化管理系统



系统配置图



系统支持的应用流程

该系统的“技术含量”

- 充分利用**智能技术和相关技术**

BIM、移动终端、物联网（RFID）

- 支持**规模化、自动化、柔性生产**

- 支持**优化管理**

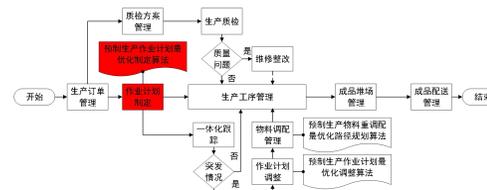
作业计划的最优化制定

作业计划的最优化调整

物料的最优化重调配规划

适用范围：钢筋混凝土预制构件流水线生产

作业计划最优化模型



• 优化目标

- 工作站闲置时间最短
- 违约费与库存成本最少
- 生产总时长最短
- **减少工作站生产内容变动**

• 优化目标公式

$$\begin{aligned} \text{Min } f_{WI} &= \sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^6 [C(J_{1,i}, M_{1,k}) - \sum_{i=1}^{n_i} P_{1,i,k}] \\ \text{Min } f_{DI} &= \sum_{i=1}^L \{ \sum_{i=1}^{n_i} \tau_{1,i} * \text{Max}[0, C(J_{1,i}, M_{1,6}) - d_{1,i}] + \sum_{i=1}^{n_i} \varepsilon_{1,i} * \text{Max}[0, d_{1,i} - C(J_{1,i}, M_{1,6})] \} \\ \text{Min } f_{MS} &= \text{Max}_{v_1 \in N^+} \sum_{1 \leq l \leq L} C(J_{1,i}, M_{1,6}) \\ \text{Min } f_{TC} &= \sum_{s=1}^S \{ \text{ETN}_s + \alpha * \text{ECT}_s \} \end{aligned}$$

• 限制条件

- 产能限制
- 蒸养室容量限制
- 工作制限制
- 工序间缓存空间限制
- **模板数量限制**
- **模台数量限制**

• 限制条件公式

$$\begin{aligned} S(J_{1,i}, M_{1,k}) &\geq \begin{cases} \text{Max}[C(J_{1,(i-1)}, M_{1,k}), C(J_{1,i}, M_{1,(k-1)})], & \text{if } k \neq 4 \\ C(J_{1,i}, M_{1,(k-1)}), & \text{if } k = 4 \end{cases} \\ C(J_{1,i}, M_{1,k}) &\geq S(J_{1,i}, M_{1,k}) + P_{1,i,k} \\ S(J_{1,i}, M_{1,4}) &\geq \text{Max}_{v_1 \in N^+} \sum_{|y| < i} C(J_{1,y}, M_{1,4}) \\ C(J_{1,i}, M_{1,3}) &\geq \begin{cases} T, & \text{if } T \leq 24D + H_W + H_E \\ 24(D + 1) + P_{1,i,k}, & \text{if } T > 24D + H_W + H_E \end{cases} \\ C(J_{1,i}, M_{1,4}) &\geq \begin{cases} T, & \text{if } T < 24D + H_W \\ 24(D + 1), & \text{if } 24D + H_W \leq T \leq 24(D + 1) \\ T, & \text{if } T > 24(D + 1) \end{cases} \\ C(J_{1,i}, M_{1,k}) &\geq \begin{cases} T, & \text{if } T < 24D + H_W \text{ and } k = 1, 2, 5, 6 \\ T + H_N, & \text{if } T \geq 24D + H_W \text{ and } k = 1, 2, 5, 6 \end{cases} \\ C(J_{1,i}, M_{1,k}) &\geq S(J_{1,(i-B_{1,k})}, M_{1,(k+1)}) \\ S(J_{1,i}^S, M_{1,1}) &\geq \text{Min} \{ \text{Max}_{v_1 \in N^+} \sum_{1 \leq l \leq L} \sum_{v_2 \in N^+} \sum_{|y| \leq l} \sum_{v_3 \in N^+} \sum_{|x| < j} [C(J_{1,y,x}, M_{1,6})] \} \\ S(J_{1,i}^P, M_{1,1}) &\geq \text{Min} \{ \text{Max}_{v_1 \in N^+} \sum_{1 \leq l \leq L} \sum_{v_2 \in N^+} \sum_{|y| \leq l} \sum_{v_3 \in N^+} \sum_{|x| < j} [C(J_{1,y,x}, M_{1,6})] \} \end{aligned}$$

系统试用

- 项目基本情况

五和万科长阳天地项目

房山区长阳镇01-09-09地块

装配整体式剪力墙结构体系

- 主要预制类型

外墙板230件，7类

叠合板440件，5类

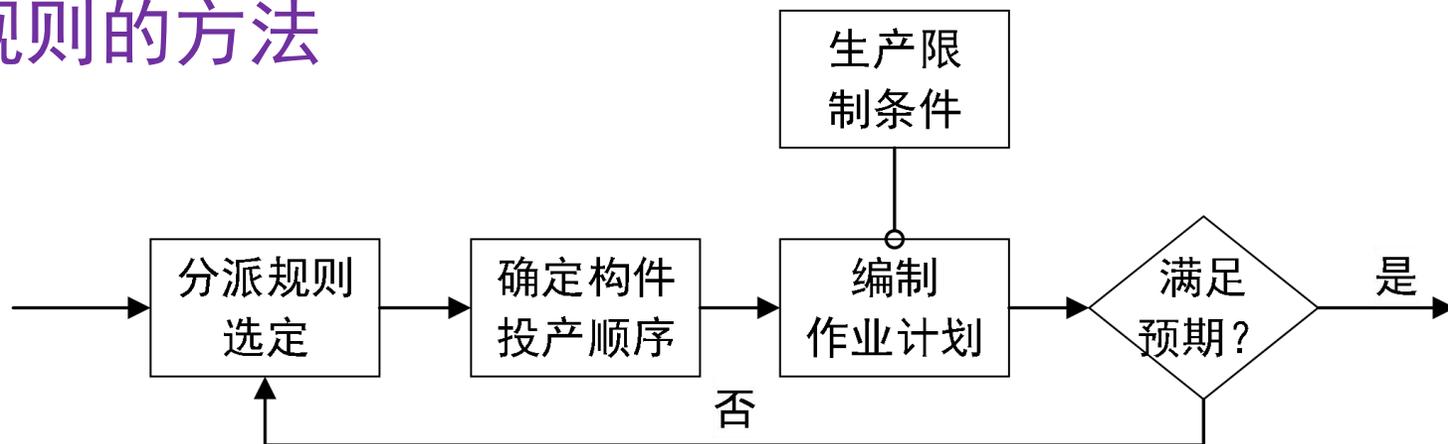
- 应用项目

利用该系统，对上述构件生产、存储及配送过程进行模拟管理



目前预制生产作业计划制定方法

• 基于分派规则的方法



• 典型分派规则

- 最早交货期分派法
- 最短加工时间分派法
- 最短余裕时间分派法
- 关键工序分派法

1. 需要人工反复比选，其效果依赖于用户经验；
2. 不保证所得结果最优

案例2 深圳第三人民医院应急院区项目钢结构智能制造技术应用

典型的装配式钢结构建筑

2层框架结构，建筑高度10米，
建筑面积4.5万平方米，建成后
有1000个房间的隔离病房

2020年2月31日开工，从规划、
设计、建成，仅用时20天



总结自《中国建筑业信息化发展报告
(2021)——智能建造应用与发展》



中建科工集团提供



中建科工集团提供



中建科工集团提供



摘自《中国建筑业信息化发展报告
(2021)——智能建造应用与发展》

• 主要应用点

智能设备应用

包括：智能下料中心、机器人装焊中心、部件制造中心、自动钻锯锁中心、自动铣磨中心、自动组焊矫中心、自动抛丸喷涂中心等

模拟仿真系统

工艺布局数字化模拟仿真
工序加工模拟仿真



- **应用效益**

生产效率： 总体生产效率提高大于20.77%

运营成本： 从人工成本及电能消耗上运营成本降低20%以上

产品制造周期： 项目的产品生产周期缩短30%以上

产品不良品率： 项目不良品率降低20%以上



案例3 广联达筑梦智慧工地项目管理平台

- 集成应用

广联达

斑马进度管理工具

物料验收管理工具

安全管理系统

BIM5D系统

品茗：塔吊防碰撞系统

海康：视频监控系统

欧禄森：环境监测系统

PKPM：试验管理系统

博晟：安全教育培训箱

劳务实名制管理系统

质量管理系统

项目成本管理系统

BIMFACE



智慧工地平台管理驾驶舱1

清华大学土木工程系 马智亮

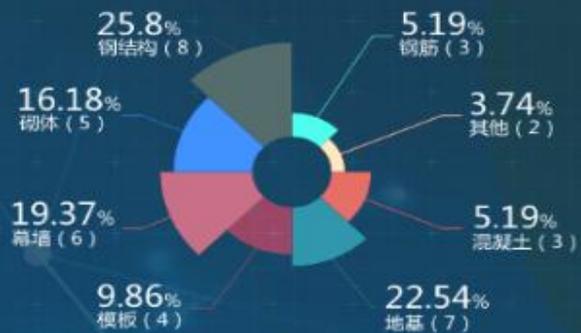


智慧工地平台管理驾驶舱2



AQI指数 216 重度污染
PM2.5 253 严重超标

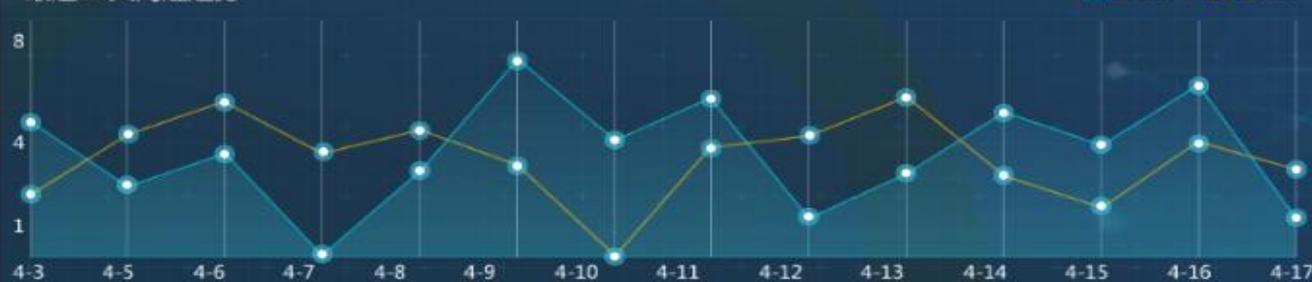
安全施工 288天 16时 56分 03秒



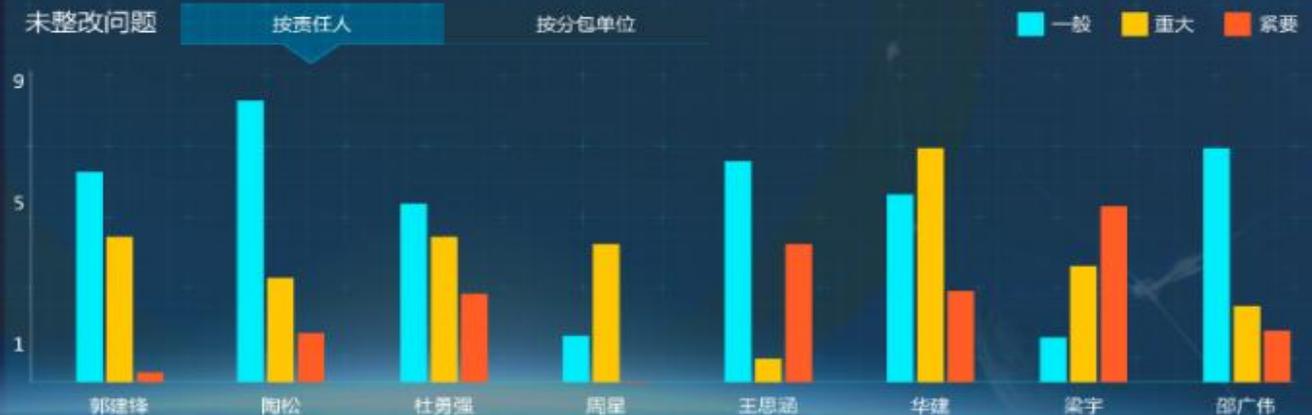
待整改外部问题



最近14天问题趋势



未整改问题



- 施工试验
- 样板引路
- 合署办公
- 风险控制
- 实测实量
- 周视图日

智慧工地平台管理驾驶舱3

4. 智能建造的发展趋势

- 智能建造的发展

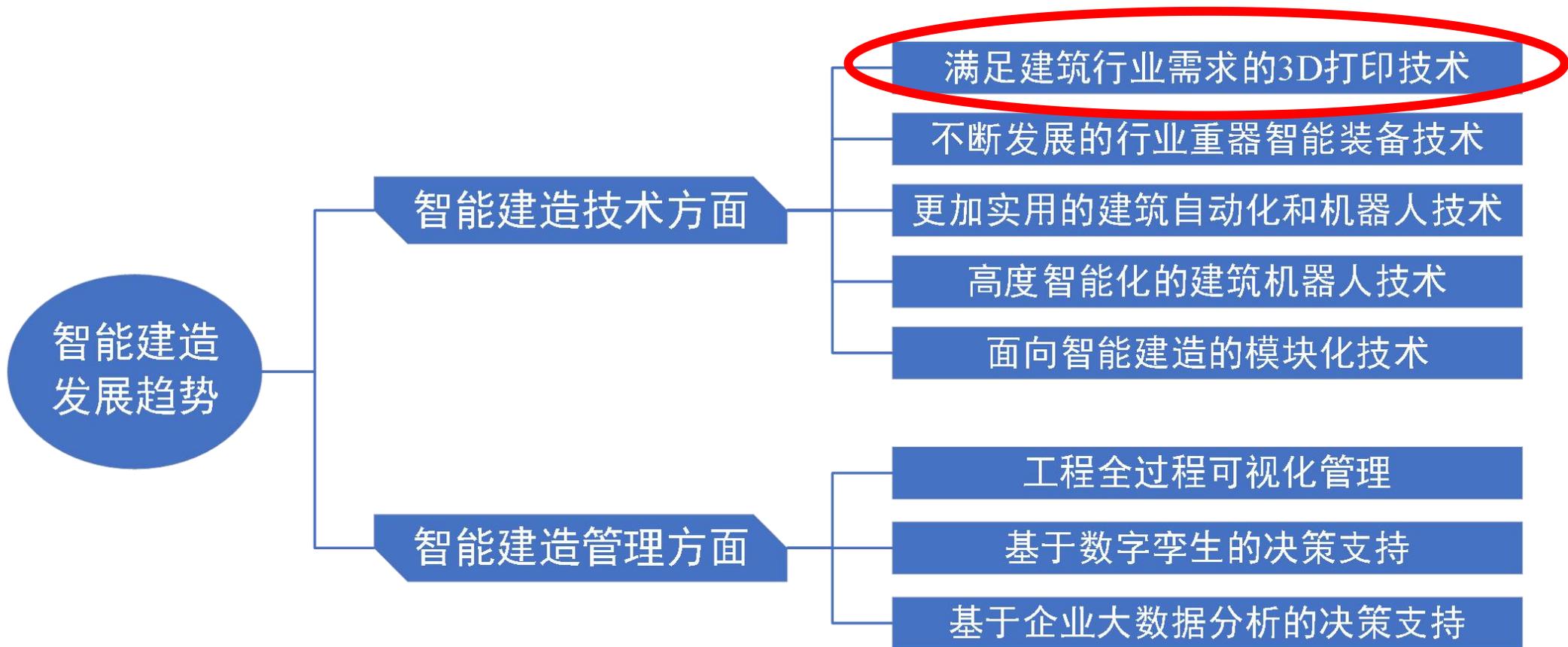
目前智能建造还处于低水平

智能建造的发展归根到底是发展智能化系统

相关技术和管理的创新是发展智能化系统的前提

分别从智能建造的技术和管理两个方面

展望智能建造的未来发展趋势



总结自《中国建筑业信息化发展报告
(2021) ——智能建造应用与发展》

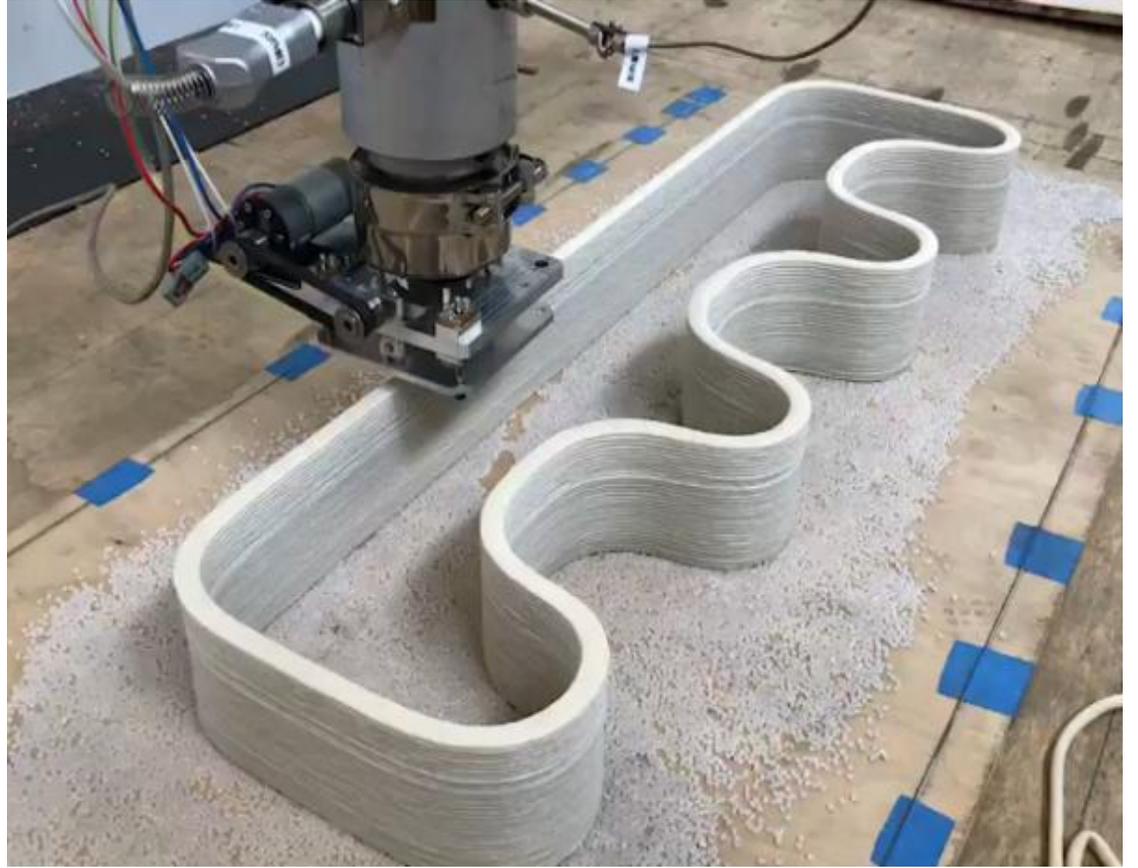
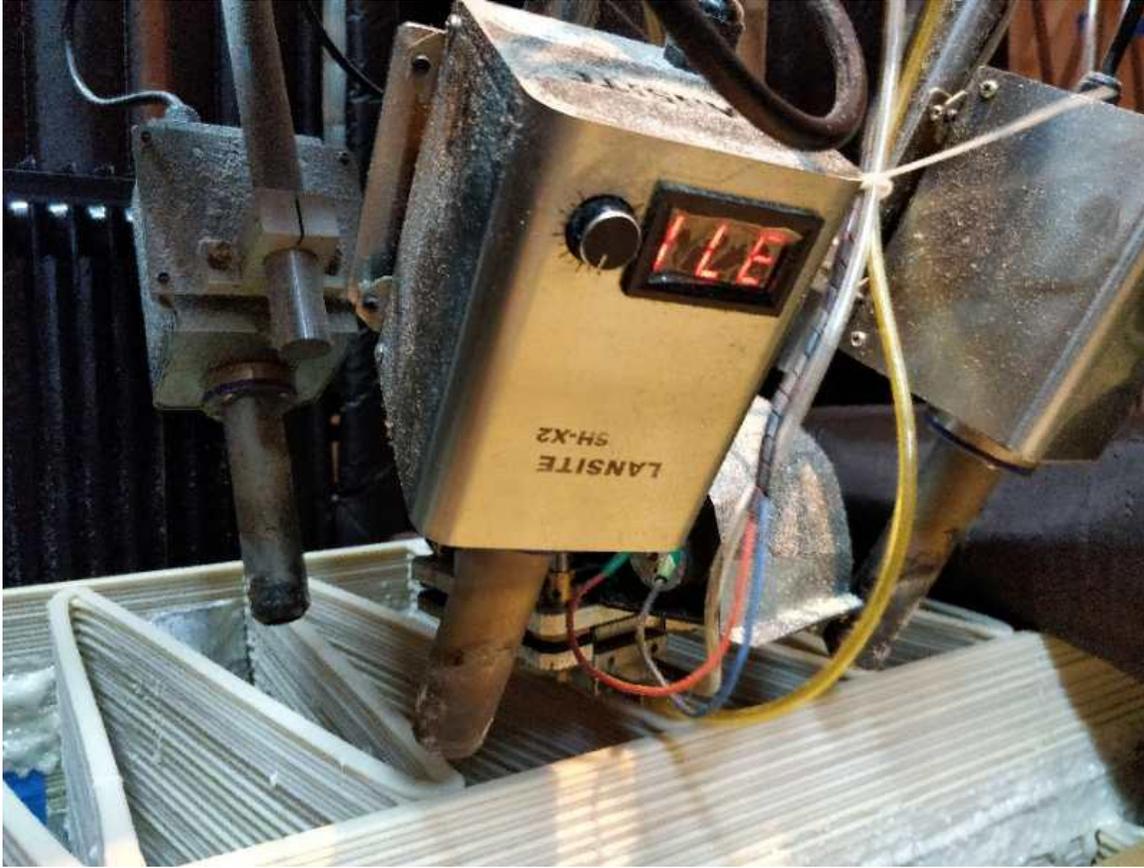
满足建筑行业需求的3D打印技术

- 定义

在现有的3D打印技术的基础上，
解决应用体系、打印材料、打印设备等问题

- 应用情况

目前在极少数施工企业得到应用



上海建工机施公司提供

5. 结语

本交流报告

回顾了智能建造的演变过程

阐述了智能建造的应用热点

预测了智能建造的发展趋势

有助于大家把握智能建造应用与发展



谢谢 欢迎批评指正