



数字建造



授课教师：骆汉宾 教授

华中科技大学



e-construction

湖北省数字建造与安全工程技术研究中心
CENTER FOR VIRTUAL, SAFE AND AUTOMATED CONSTRUCTION (VISAC)

CONTENTS

1

背景

2

数字建造框架体系

3

研究与实践



背景

背景——我国是**建造大国**

- 阿卡迪建筑资产指数：全球第一，超过美国

10大高层建筑（6）

10大最长大桥（8）

20大港口（14）

20大水电站（11）



北京大兴国际机场



南海岛礁



华龙一号



港珠澳大桥



500米口径球面射电望远镜



葛洲坝

背景

国家对建筑业转型升级的需求——工业化、智能化

以推动高质量发展为主题的国家发展战略

国务院办公厅关于促进建筑业持续健康发展的意见(2017): “积极支持**建筑业科研工作**, 大幅提高**技术创新**对产业发展的贡献率”

国务院办公厅转发住房城乡建设部关于完善质量保障体系提升建筑工程品质指导意见(2019): “加大建筑业技术创新及研发投入, 推进**产学研用一体化**, **突破重点领域、关键共性技术**开发应用”

住房和城乡建设部等十三个部门关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见(2020): “到2025年, 我国智能建造与建筑工业化协同发展的政策体系和产业体系基本建立, **建筑工业化、数字化、智能化水平显著提高**”

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

各省、自治区、直辖市人民政府, 国务院各部委、各直属机构:

建筑业是国民经济的支柱产业。改革开放以来, 我国建筑业快速发展, 建造能力不断增强, 产业规模不断扩大, 吸纳了大量农村转移劳动力, 带动了大量关联产业, 对经济社会发展、城乡建设和民生改善作出了重要贡献。但也要看到, 建筑业仍然大而不强, 监管体制机制不健全、工程建设组织方式落后、建筑设计水平有待提高、质量安全事故时有发生、市场

国务院办公厅转发住房城乡建设部关于完善质量保障体系提升建筑工程品质指导意见的通知

国办函〔2019〕92号

各省、自治区、直辖市人民政府, 国务院有关部门:

住房城乡建设部《关于完善质量保障体系提升建筑工程品质的指导意见》已经国务院同意, 现转发给你们, 请认真贯彻落实。

国务院办公厅

2019年9月15日

索引号: 000013338/2020-00264

主题信息: 建筑市场

住房和城乡建设部 国家发展改革委 科技部 工业和信

息化部 人力资源社会保障部 生态环境部 交通运输部

发文单位: 水利部 税务总局 市场监管总局 银保监会 铁路局 民航局

生成日期: 2020年07月03日

文件名称: 住房和城乡建设部等部门关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见

有效期:

文号: 建市〔2020〕60号

主题词:

废改立情况:

背景

全球科技发展趋势

1、人工智能

2、5G通讯技术

3、新材料

4、云技术

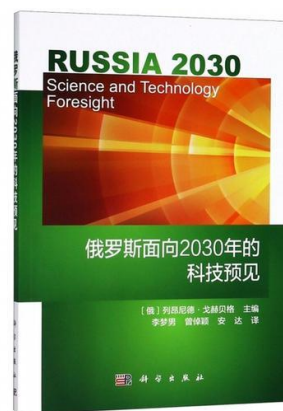
5、3D打印

6、大数据分析

7、泛在感知网络技术

8、智能机器人技术

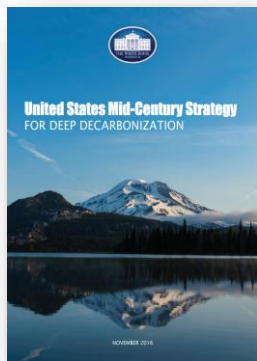
- 美国军方《2016-2045年新兴科技趋势报告》
- 美国白宫科技政策办公室《科技聚焦》
- 英国政府科技办公室《技术与创新的未来2017》
- 俄罗斯科技预测2030
- McKinsey：影响未来的12大科技
- Gartner：2021战略性科技
- MIT科技评论
- 中国工程院《引发产业变革的重大颠覆性技术预测研究》



新一轮科技革命催生战略新兴产业，科技创新赋能生产力提升

背景

全球建筑业转型升级趋势



- **美国**联邦政府于2016年发布《United States Mid-century Strategy》，拟以实现建筑产业低碳为目标，**加强投资能效技术**（如建筑围护节能技术、建筑楼宇综合能源管理系统等）



- **英国**政府和工业界于2013年联合制定《Construction 2025》，将**智慧建造和数字设计、低碳和可持续建筑**定为战略优先



- **昆士兰**建造技术中心和澳大利亚联邦科学与工业研究组织于2016年发布《Farsight for Construction》，强调**应用新兴技术**，规范标准输出和劳工输入，实现可持续发展



- **中国香港**政府于2018年发布《香港建造业2.0》，强调**创新改革行业文化**，鼓励创新思维和善用高端科技，以提高生产力、施工效率和项目表现

背景

国际咨询机构对建筑业转型的研判



麦肯锡《The next normal in construction》(2020) 提到由于新冠疫情的冲击，推动建筑业加快转型，工业化、新材料、**数字化产品及工艺**、新型管理人员将成为发展趋势



安永《科技如何应对工程与建造业面临的挑战?》(2018) 指出未来建筑业将使用的5项**数字增强技术和产品**：企业资源计划、云解决方案、分析工具、无人机、便携式技术



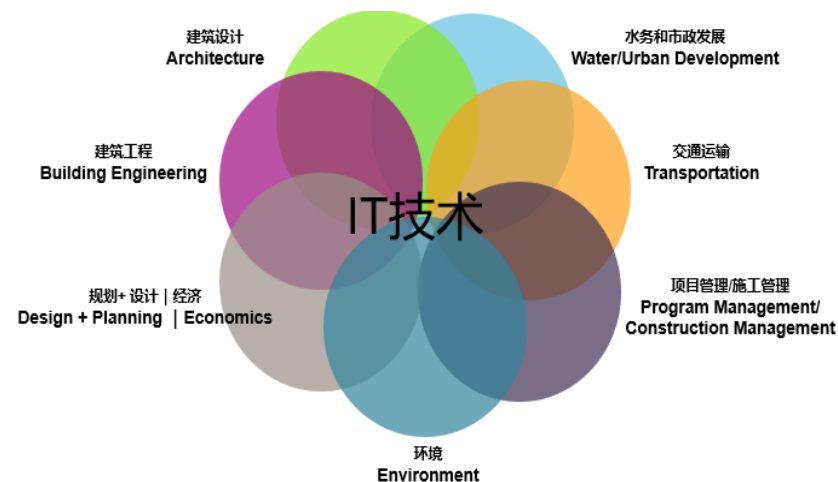
毕马威《Global Construction Survey 2019》(2019) 提到未来建筑业的发展前景将由对**建筑业科技投入关注高**的企业引领，呼吁鼓励各建筑企业能够加大自身对**科技创新的投入度**



麦肯锡《How construction can emerge stronger after coronavirus》(2020) 提到建筑业**短期趋势**：**数字化增加**、平衡供应链；**长期趋势**：**加大科技及数字化技术研发**、可持续发展、加大装配式生产

小结

- 美欧日澳等国家和地区充分意识到**科技创新推动建筑业发展**；各国政府发挥带头作用，从政策、体制机制等多个层面支持建筑业科技创新，刺激并推动公私合作建立良好科技创新生态系统
- 全球大型建筑企业（如AECOM、ARUP等）正积极、主动抓住科技革命浪潮带来的机遇，在建筑信息模型（BIM）、物联网（IoT）等方面开展科技创新
- **我国建筑业企业智能化水平发展步伐不均衡，产业总体发展方式仍粗放**，面对行业转型升级和高质量发展要求，需聚焦关键共性技术，加速**智能建造的科研攻关议程**



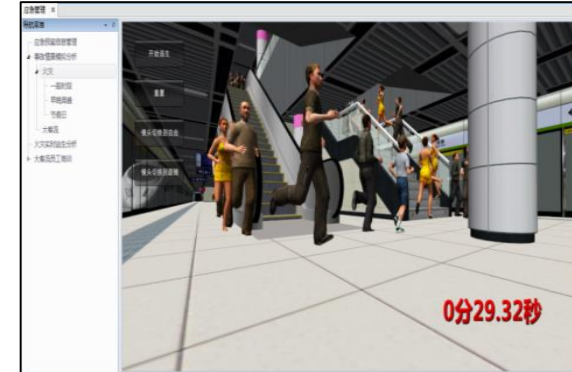
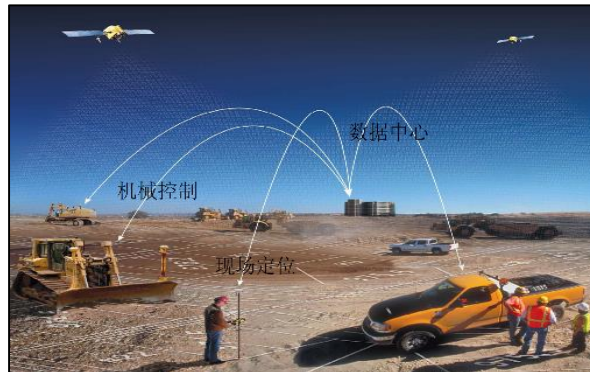
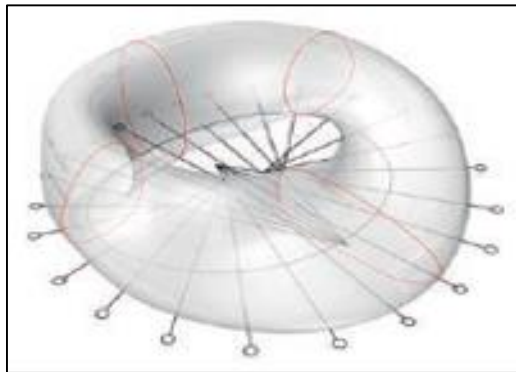
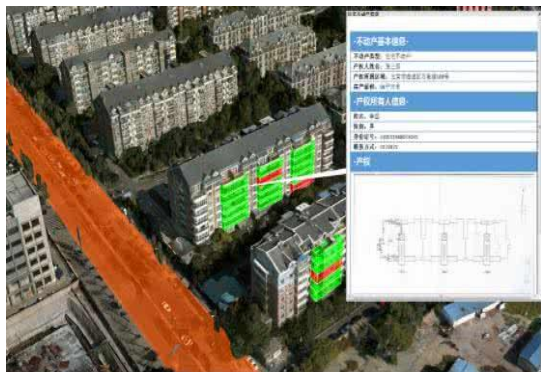


数字建造框架体系

国家数字建造技术创新中心、湖北省数字建造与安全工程技术研究中心 (VISAC) 在国家各部委科技项目的支持下，开展数字建造理论研究与实践：

- **国家自然科学基金创新研究群体** “管理系统工程” (71821001)：研究“互联网+”工程建造新模式与平台化
- **国家自然科学基金重点项目** “数字建造模式下的工程项目管理理论与方法研究” (71732001)：研究 (1) 工程建造服务建模与组合优化方法； (2) 工厂化建造模式资源协调机制与方法； (3) 数据驱动的施工现场安全管控
- **湖北省科技重大专项** “智能建造关键技术及应用” (2020ACA006)：突破“智能设计-智能工地-智能装备-智能决策-智能服务”的关键核心与共性支撑技术
- **中国工程院重大咨询研究项目** “中国建造高质量发展战略研究” (2020-ZD-9)：研究为实现中国建造高质量发展所需解决的重大问题，规划中国建造高质量发展的战略路径
- **中国工程院重大项目** “全球工程前沿研究” (工程管理领域)：挖掘全球工程研究与开发前沿，分析研判全球工程前沿态势。报告每年由工程院、科睿唯安、高教出版社联合面向全球中英文同步发布
- **科技部2021-2035年国家中长期科技发展规划研究** “城镇化与城市发展科技创新专项规划” (GHZX2020SSW028)：以建筑-城市生命线-社区-城市群为点线面域载体，开展城镇化与城市发展科技创新专项规划战略研究
- **重大横向项目**：武汉地铁、石化施工预警、两湖隧道智能工地等大型公建项目总控

数字建造内涵



智能**规划**

算法**设计**

虚拟/自动化**施工**

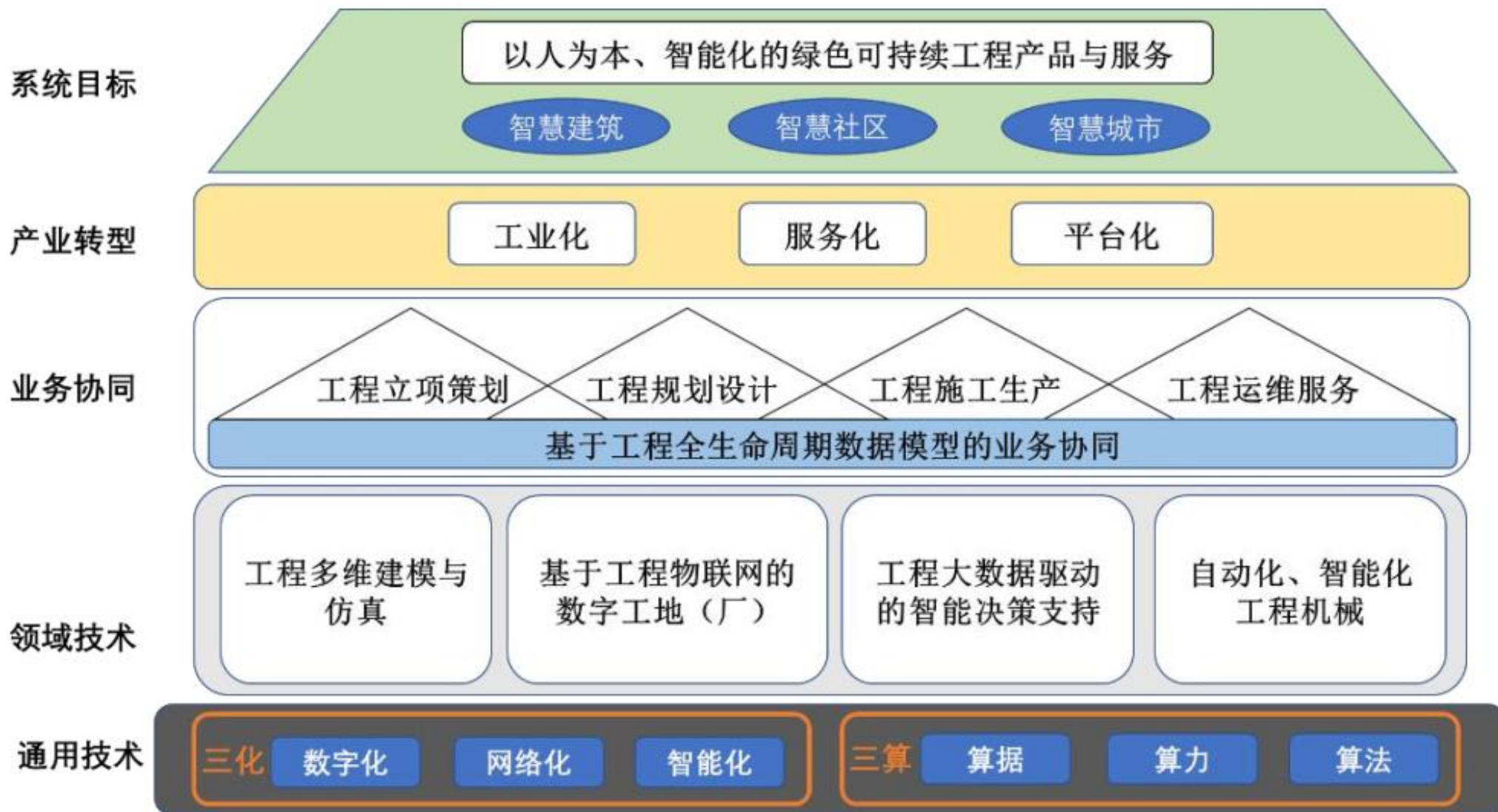
智慧**运维**

现代信息技术驱动下的工程项目全生命周期

(互联网、人工智能、物联网、云计算.....)

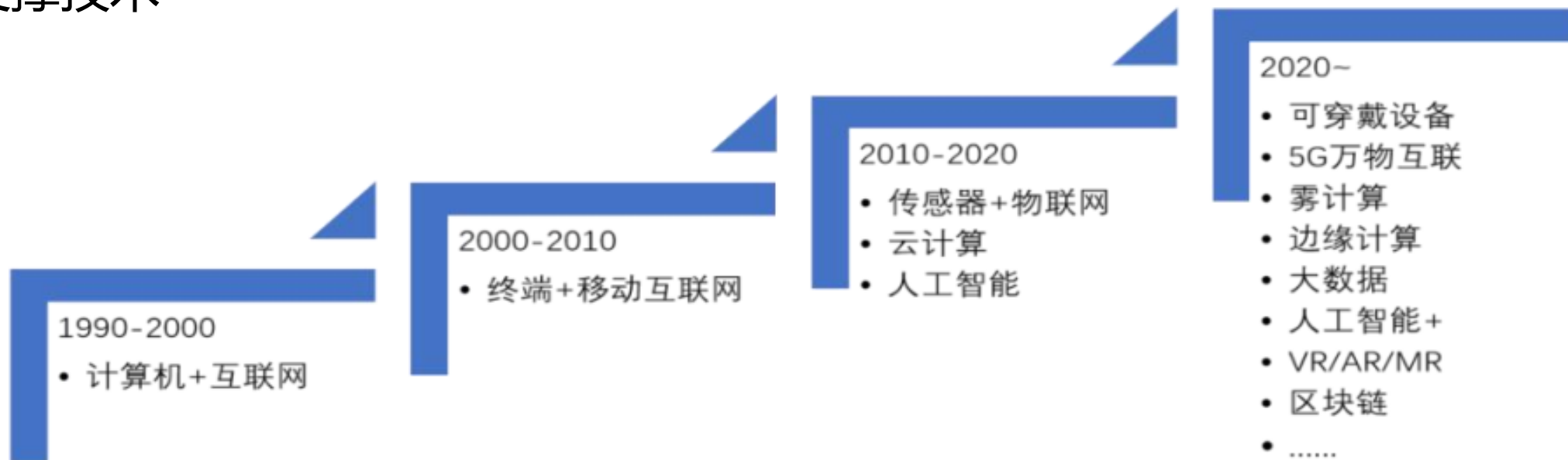
- **内涵**: 利用数字化、网络化、智能化技术, 对工程项目全过程信息进行规范化建模, 实现数字链驱动下的工程项目规划-设计-施工-运维一体化的建造与服务模式
- **目的**: 提高**建造和资源利用效率**、交付**高性能工程产品**、实现工程项目**全生命周期增值和生态可持续建造**

数字建造框架体系



数字建造的基础

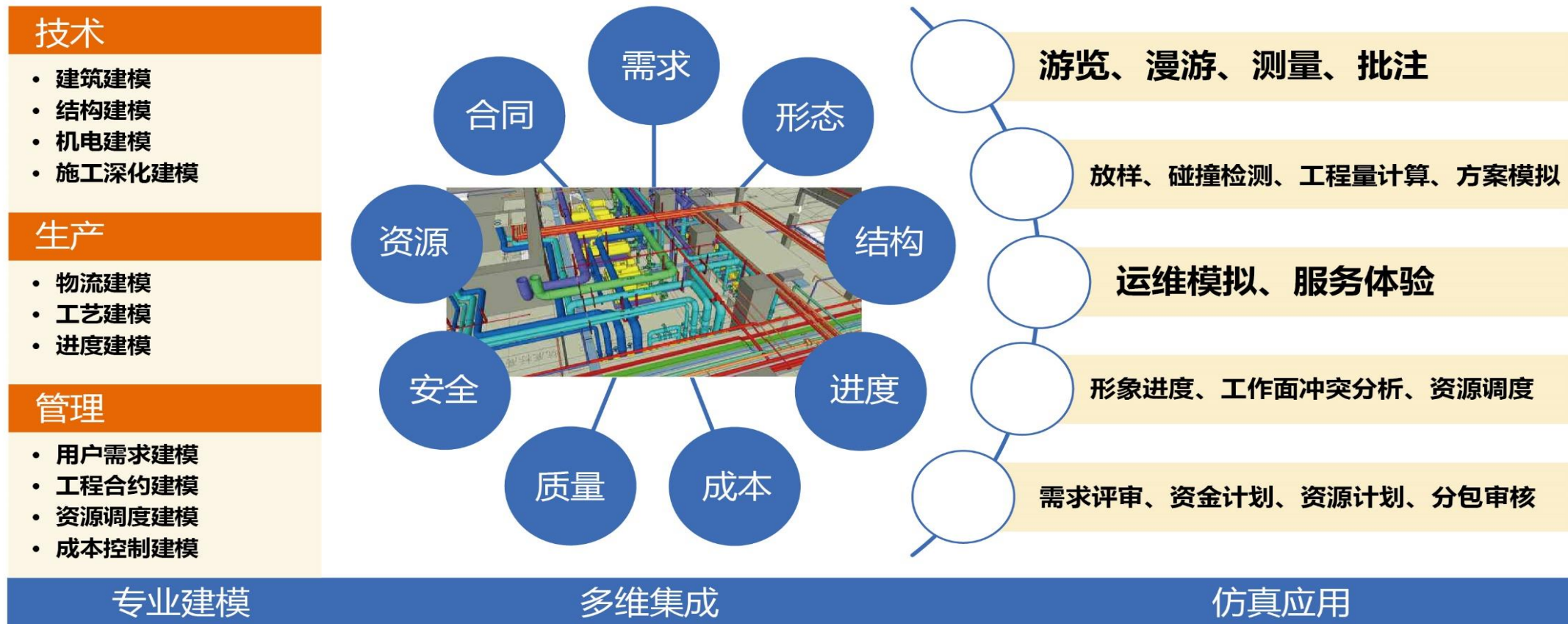
新一代数字技术是以“三化”（数字化、网络化、智能化）和“三算”（算据、算力、算法）为特征的通用技术，是智能建造创新发展的基础支撑技术



数字技术的发展

数字建造领域关键技术

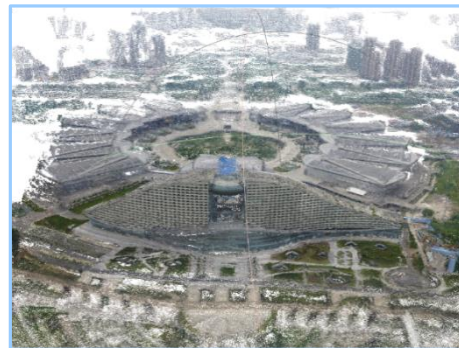
关键技术一：工程多维数字建模与仿真技术



以数字化孪生模型与仿真技术驱动**工程产品定义**，以数字化重构技术实现**工程实施验证**，将设计信息和生产过程信息共同定义到三维数字化模型中，实现**工程项目的一体化管理**

关键技术一：工程多维数字建模与仿真技术

智能环境感知与空间重构

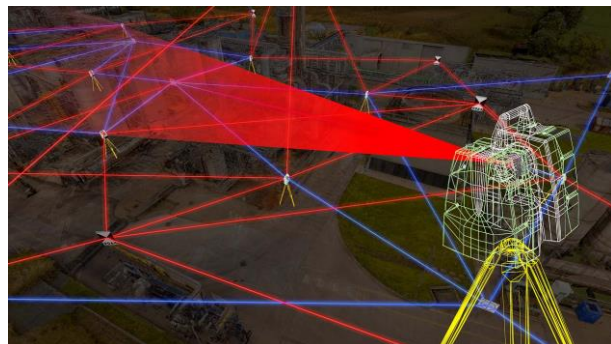
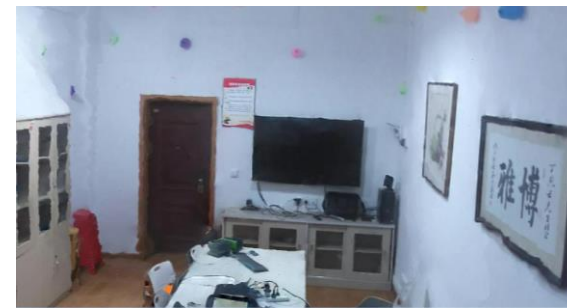
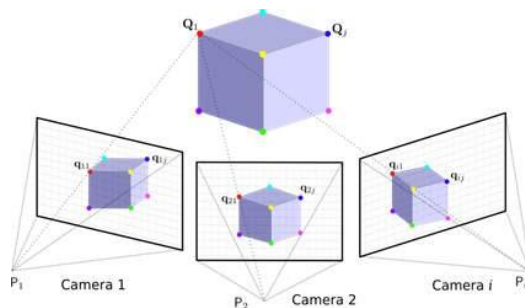


无人机倾斜摄影

耗时短，范围广，能够采集屋顶、立面

手持式广角相机建模

成本低，使用灵活

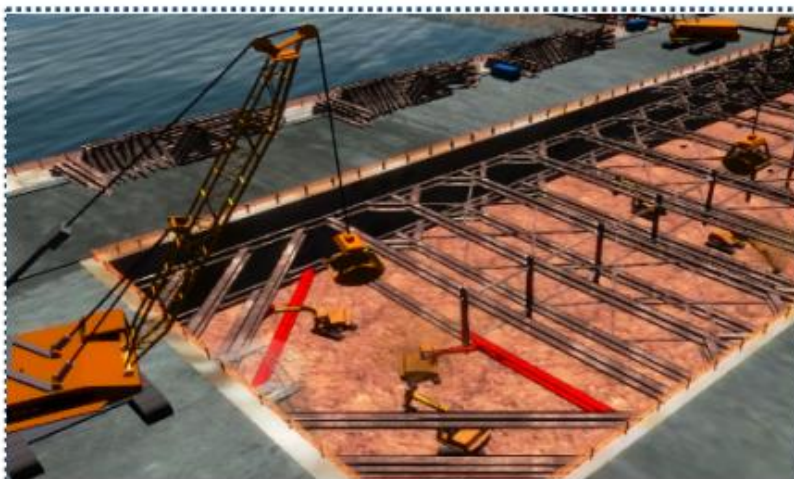


站立式激光扫描仪

数字建造领域关键技术

□ 关键技术二：工程物联网技术

将数字技术与施工工地的作业活动有机结合，构建工程物联网，可以全面、及时、准确地感知工程建造活动的相关要素信息



数字工地



实体工地


建立工程物联网，与BIM互联互通，以数字工地指导实体工地，实现建造过程可感知、可计算、可控制

数字建造领域关键技术

□ 关键技术二：工程物联网技术

在部署实施的过程中，工业物联网与工程物联网的主要区别体现在：

- 1) 工程建造感知是人为中心的数据传输闭环
- 2) 工程建造过程具有时空变化与弱耦合特性
- 3) 工程建造任务具有唯一性与不可重复特点
- 4) 工程建造环境具有复杂性与信号屏蔽效应

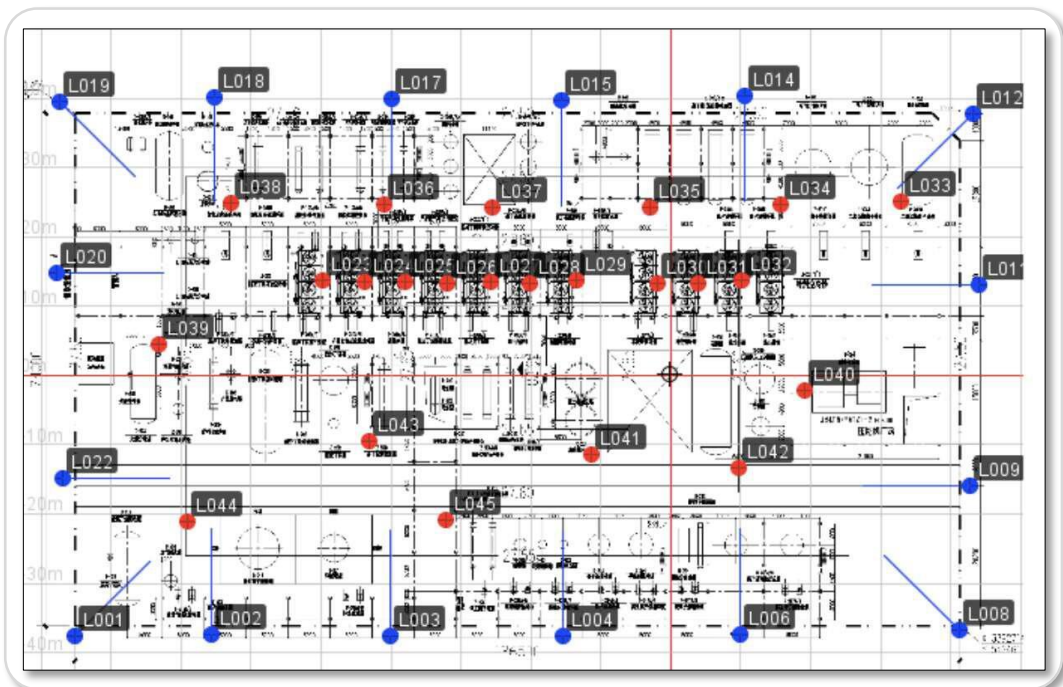


	工业物联网		工程物联网	
	工业特性	部署需求	工程特性	部署需求
感知特点	以工业设备为主	感知设备的运行、健康状态等	以人为主	感知人的身份、行为、情绪等
过程特点	作业空间相对稳定、瞬时耦合	精确感知 严格阈值控制	建造空间实时变化、延时耦合	融合感知 模糊控制
任务特点	生产任务 流水线重复	相对固定组网	建造活动不可复制、唯一性	无线灵活组网
环境特点	工业环境高温、 高压情况突出	感知节点的 可靠性	建造空间场景复杂、 钢结构密集	传输网络的 可靠性

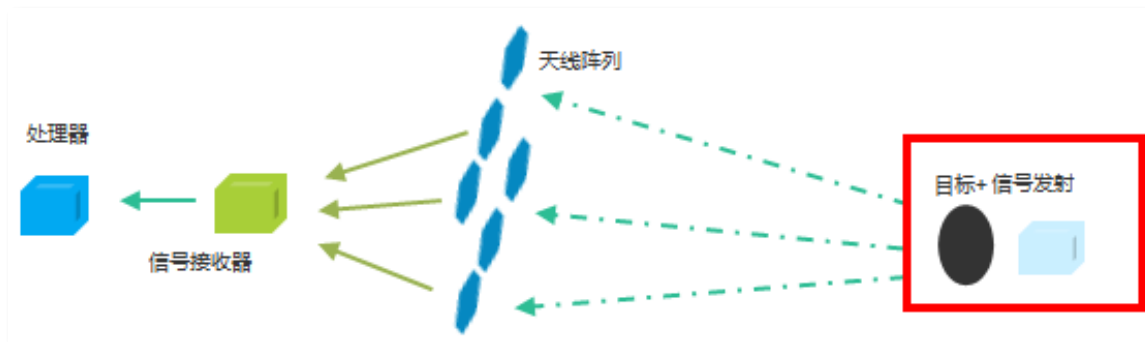
数字建造领域关键技术

关键技术二：工程物联网技术

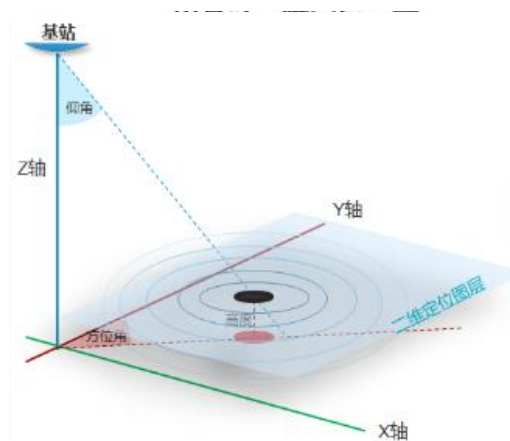
基于多源数据耦合的亚米级三维精准定位



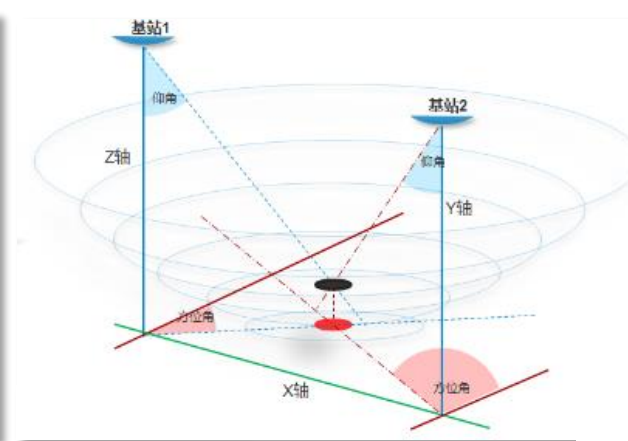
三维定位传感器布设



无源相控定位原理



单基站定位示意



多基站定位示意

数字建造领域关键技术

关键技术三：基于工程大数据的智能决策支持技术

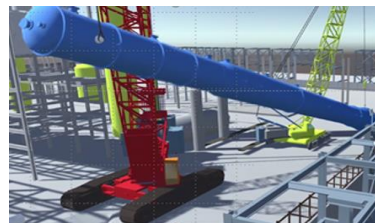
对工程项目全生命周期的海量、异构数据进行高效地解析，实现由经验驱动决策向数据驱动决策转变

经验数据



如：工程报告，施工日志

模型数据



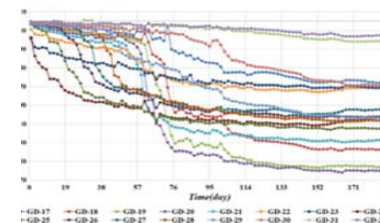
如：BIM模型，三维重建模型

流媒体数据



视频监控数据

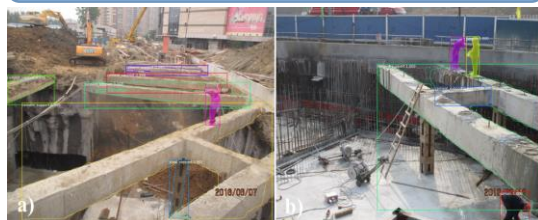
时序数据



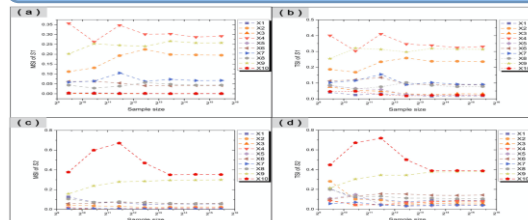
如：地标沉降监测数据



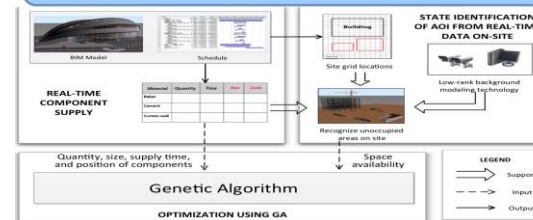
人员行为判定与矫正



结构状态的监测与预测



施工组织的优化调度



数字建造领域关键技术

□ 关键技术四：智能化工程机械

人工经验
操作



施工
辅助系统



限定条件
自动化



完全自主
施工



研究成果

在**数字建造、工程安全管理**等研究方向发表了高质量学术论文**百余篇**，其中在包括《IEEE Transactions on Systems》、《IEEE Transactions on Engineering Management》、《Automation in Construction》、《Safety Science》、《Accident Analysis & Prevention》、《Journal of Computing in Civil Engineering》、《National Science Review》、《土木工程学报》等国内外著名期刊

- 国家科技进步二等奖**2**项
 - 数字轨道交通工程集成建设关键技术及应用
 - 地铁施工安全风险控制成套技术及应用
- 教育部科技进步一等奖**2**项
- 2017年度香港建造业议会创新奖国际大奖
- 国家发明专利授权**29**项
- 在川藏铁路、南海岛礁工程、地铁工程、石油石化工程、跨江大桥、武汉国际博览中心等诸多项目开展了工程示范和应用推广



发布我国**第一套**数字建造丛书

数字化空间重构与分析技术（城市建筑/街区智能更新）



智慧层

智能分析

城市历史风貌建筑智能更新平台

数据衍生智慧



数据层

数据管理

数据交换

数据存储

数据分析

主数据

业务数据

应用产生数据



应用层

照片到
BIM

图纸到
BIM

扫描到
BIM

工艺
建库

病害
建库

构件
建库

现状
建库

价值
评估

健康
评估

消防
审查

方案
生成

技术催生应用



技术层

平台

HBIM标准及数据库搭建技术

复杂场景建模技术

全过程安全评价技术

感知

振动

GPS

红外热像

移动终端

温度

图像

模型

湿度

倾斜

位移监测

历史建筑信息建模 (H-BIM) 技术

历史建筑信息建模包括**历史信息的建库**和**建筑三维立体模型**的创建两个部分，来实现全武汉市历史建筑信息的全方位展示、遗产建筑价值评估、修缮方案自动生成等功能。

□ 风貌要素建库技术

1. 历史建筑的风貌要素

基本涵盖一个历史建筑文化价值有关的所有信息（包括文字、图片及三维模型等）

建筑类别	保护等级	建造年代
建筑地址	建设单位	历史沿革
文化价值	科学价值	艺术价值
历史价值	社会价值	保护要求
图文档案	四维模型	资料汇编

结构化

2. 建立历史建筑风貌要素数据库

- ◆ **查询历史建筑相关标准规范**
设计标准/规范、施工标准/规范、消防设计审查验收标准/规范
- ◆ **查询建筑概况**
建筑概述、主人更迭、改造前后状况、历史修缮沿革、建筑价值、建筑图纸(不同时期的设计图纸/模型、施工图纸/模型)、特色构件(材质属性、形状大小、设计风格、艺术特色)等
- ◆ **在线浏览BIM模型**
现状BIM、设计BIM、竣工BIM及点云扫描、倾斜摄影
- ◆ **建筑病害查询与治理**
建筑病害查询、病害自动识别、病害治理工艺匹配、修缮报告自动生成、生成病害治理报告
- ◆ **支持设计施工在线审查**
支持设计图纸、施工图纸、消防图纸自动审查，自动导出生成审查报告
- ◆ **支持全过程安全评价**
施工前建筑安全评估、施工中建筑安全监控、施工中工人安全管控、施工后建筑安全跟踪、建筑低碳运维、虚拟展示与游览

历史建筑信息建模 (H-BIM) 技术

HBIM多维结构化数据库搭建技术

HBIM 多维结构化数据库 = 构件库 + 病害库 + 工艺库 + 现状库

◆ 构件库

- 内容：材料属性、形状尺寸、设计风格、艺术特征等
- 功能：可以科学地指导构件的建造、保存和维修。

获取建筑整体结构和各特征构件的点云数据

↓融合

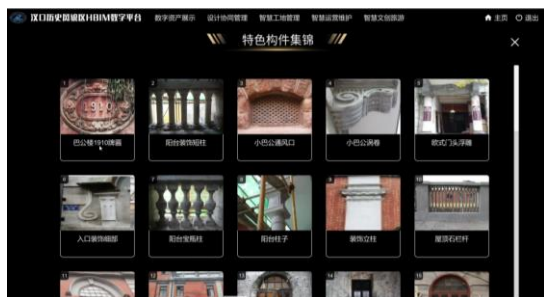
历史建筑三维点云模型

↓转换

BIM模型

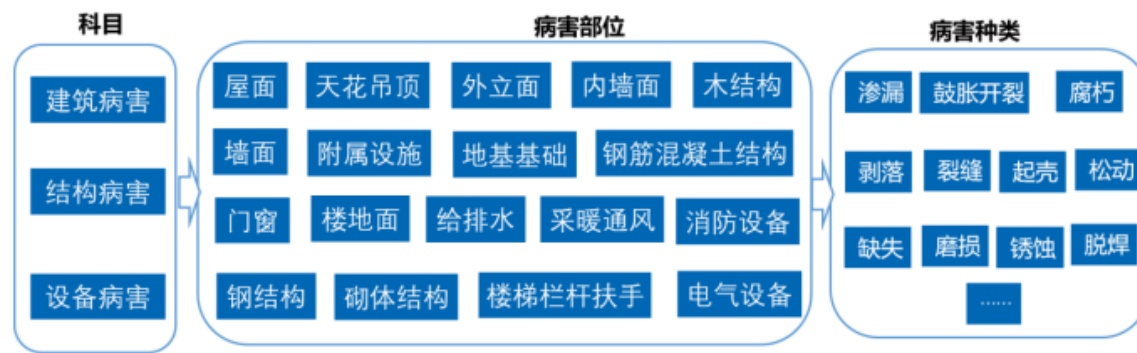
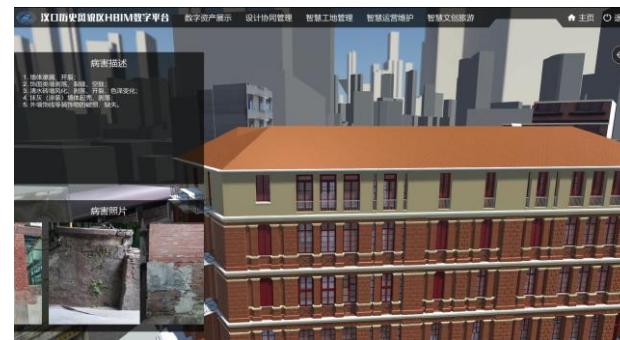
↓对不同类型的构件

编码、赋予属性特征



◆ 病害库

- 内容：病害种类、病害分布、病害形成机理和劣化机制等。
- 分类依据：依据建筑病理划分为 (1) 建筑病害；(2) 结构病害；(3) 设备病害。



历史建筑信息建模 (H-BIM) 技术

HBIM多维结构化数据库搭建技术

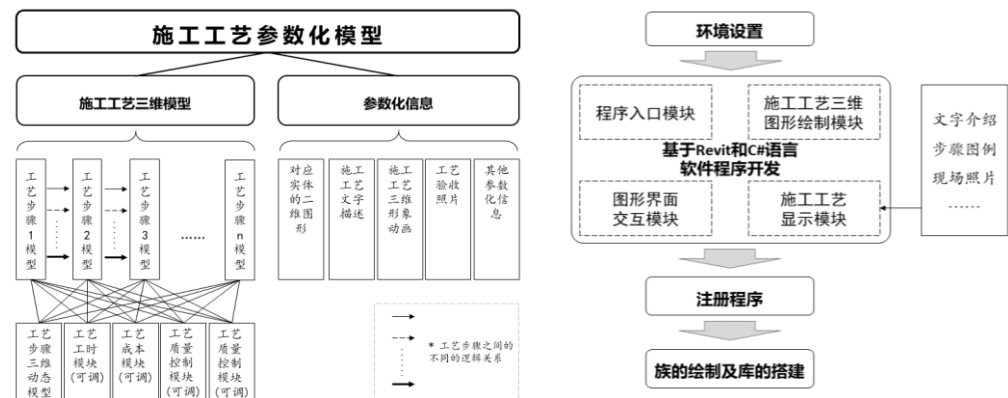
◆ 工艺库

- 内容：建造和修缮工艺，包括**修缮施工工艺标准和特色做法**；对修缮施工工艺进行了参数化建模。

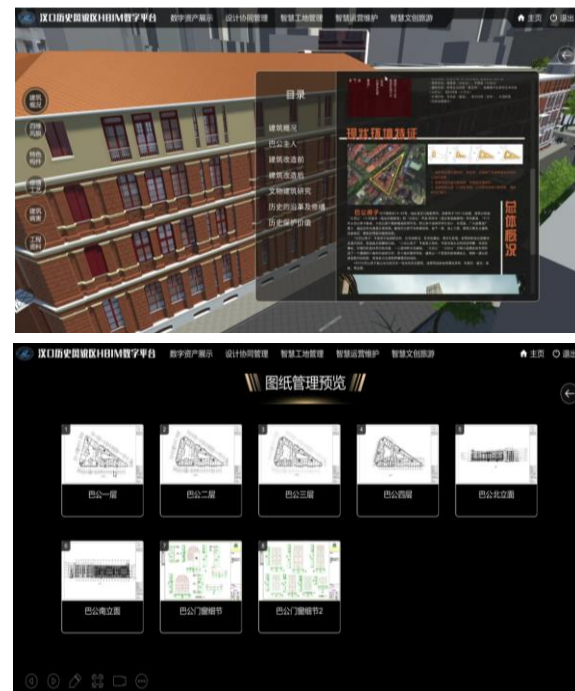
专项修缮施工	建筑修缮施工	结构修缮施工	设备修缮施工
<ul style="list-style-type: none"> • 砌体外墙面清洗 • 砖石增强 • 砖粉平色 • 憎水处理 • 防虫防白蚁 • 金属构件的除锈与保养 • 防潮层修复 	<ul style="list-style-type: none"> • 屋面修缮施工 • 板（块）材墙面内、外墙面损坏的修缮施工 • 抹灰墙面修缮施工 • 清水墙面修缮施工 • 木楼（地）面板的修缮施工 • 天然石材、地砖、马赛克等石板、地砖楼（地）面层的修缮施工 • 水磨石地面的修缮施工 • 门窗的修缮施工 • 建筑雕饰的修缮施工 • 细木装饰的修缮施工 • 油饰修缮 • 原有贴金或沥粉修缮施工 	<ul style="list-style-type: none"> • 木结构修缮施工 • 砌体结构修缮施工 • 混凝土结构修缮施工 • 钢结构修缮施工 	<ul style="list-style-type: none"> • 给排水修缮施工 • 电气设备修缮施工 • 供暖、通风系统修缮施工

◆ 现状库

- 内容：整理与汇总对历史建筑的各种数据
- 功能：协助监测、维护、制定建筑更新和利用的设计方案。



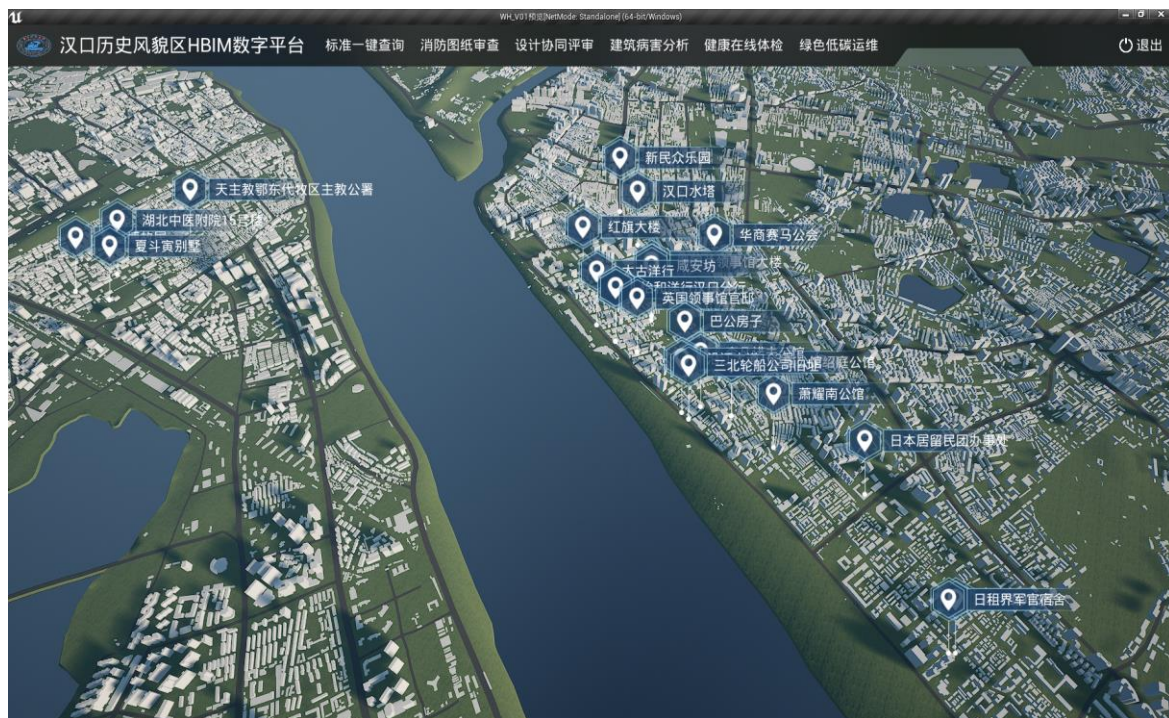
地理区位	街区概况	保护等级
建筑概况	历史沿革	历史事件
历史修缮	历史价值	文化价值
科学价值	艺术价值	设计文件
四维模型	图纸信息	资料汇编
通信网络	综合管廊	地铁路由



历史建筑信息建模 (H-BIM) 技术主要成效

◆ 武汉市历史建筑信息的全方位展示

1. 囊括武汉市**全部**的193个**历史建筑**。
2. 标记反映建筑艺术特色和**历史价值**的部位为**兴趣点**。



历史建筑健康体检数字孪生技术

□ 创新点

有限元模型实时更新

A

基于多源数据融合的结构安全评价算法的历史建筑更新工程结构安全评价系统

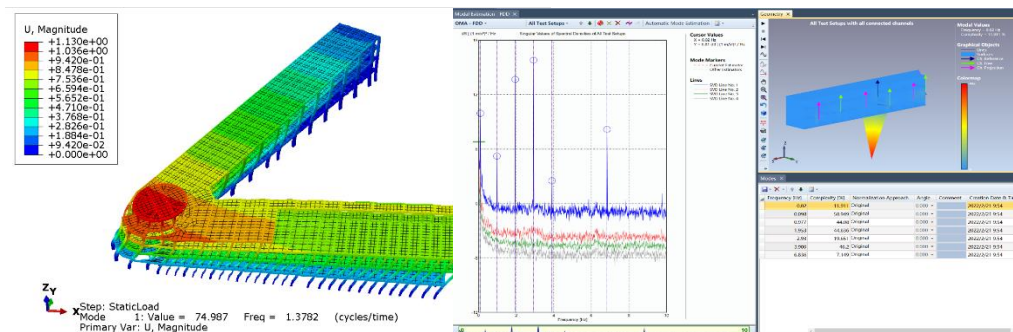
B

基于GA算法的传感器布设方案

C

监测数据超过阈值就会触发警报

D



建筑结构有限元分析和运营模态分析图

告警级别	严重程度	告警颜色
一级告警	严重告警	红色
二级告警	重要告警	橙色
三级告警	次要告警	紫色
四级告警	警告告警	蓝色

建筑健康状态预警级别划分表

历史建筑健康体检数字孪生技术主要成效

传感器组网服务



裂缝计

裂缝监测



盒式测斜仪

倾斜监测



静力水准仪

沉降监测

数据处理服务

结构健康监测项目	举例描述	I 级	II 级	III 级
不均匀沉降	对建筑上部结构沉降宽度的健康限值 (mm)	<2	2~5	>5
倾斜	对建筑上部结构倾斜率的健康限值	0	0~7‰	>7‰
裂缝	墙及带壁柱墙非受力裂缝宽度的健康限值 (mm)	无肉眼可见裂缝	≤1.5	>1.5
振动	对建筑 (共振频率在10Hz~50Hz) 上部结构振速的健康限值 (mm/s)	<20	20~25	>25

结构评价标准体系

数据传输



综合监测数据库

结果展示



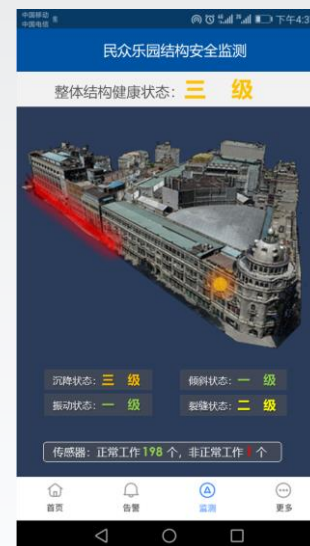
数据处理系统

监测平台服务

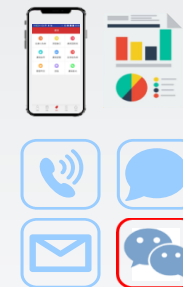
裂缝状态: 二级
倾斜状态: 一级
沉降状态: 三级



PC端服务



移动端服务



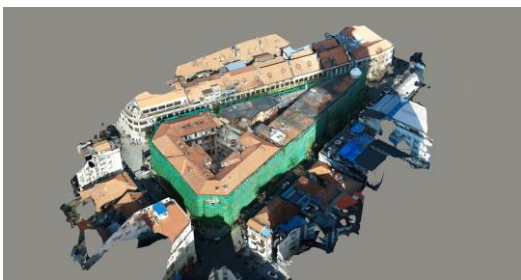
网上办事大厅通知
办证单位: 故宫博物院
办证时间: 09:00-16:00, 14:24
办证地点: 神机(办证)光碟
请携带上办证人员 (ehall@ust.edu.cn) 的身份证

基于3D点云的建筑图纸自动测绘技术

□ 建筑级



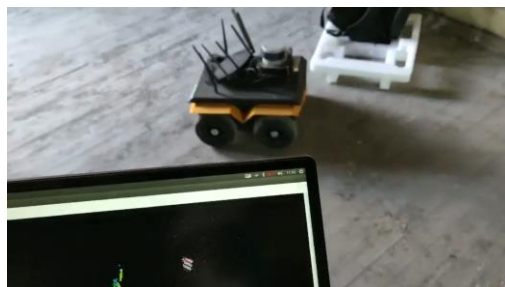
无人机倾斜摄影图像建模



针对**广域空间**，实现较高精度（3-5cm）带有纹理的建模，适用于**室外较大空间**，可采集建筑屋顶、立面信息

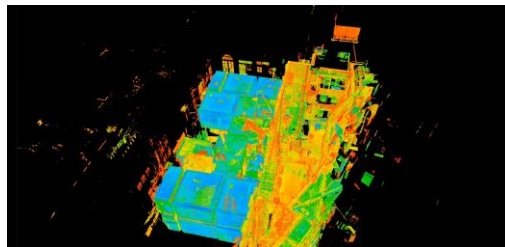
□ 房间级

车载激光
SLAM建模



针对**室内复杂空间**，实现中等精度（5-10cm）实时建模，适用于**室内面积较大**的建筑

站立式激光
扫描建模



针对**近地空间**，实现高精度（3-5mm）实时建模，适用于**室外或者室内大空间**，以及核心要素的精细化建模

□ 构件级

手持式移动终端
图像建模

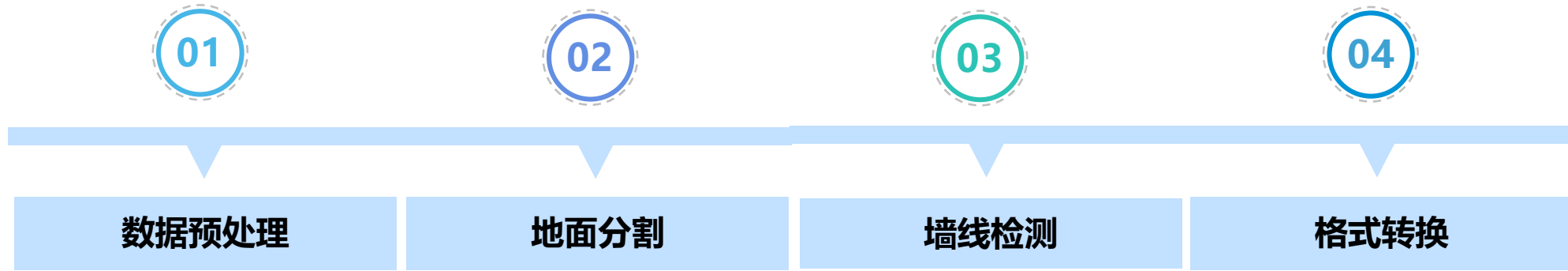


针对**重要的构件**，实现高精度（约5mm）且带有纹理的建模，适用于**纹理丰富、形状复杂**的建筑元素

- 运用智能图纸测绘与环境空间重构技术，进行**现场环境重构**，解决现有历史建筑测绘耗时长、作业难度大、人工工作量大、精度不够的问题

基于3D点云的建筑图纸自动测绘技术

□ 自动生成测绘图纸的具体步骤如下：



□ 主要工作流程如下：

远程机载设备进入建筑内部 → 选择测量位置 → 连接雷达设备 → 解析数据包获得旋转角，测距信息，以及校准反射率 → 依据雷达的旋转角，测距以及垂直角度计算XYZ坐标值 → 储存数据 → 用写好的算法对数据进行处理生成出平面图

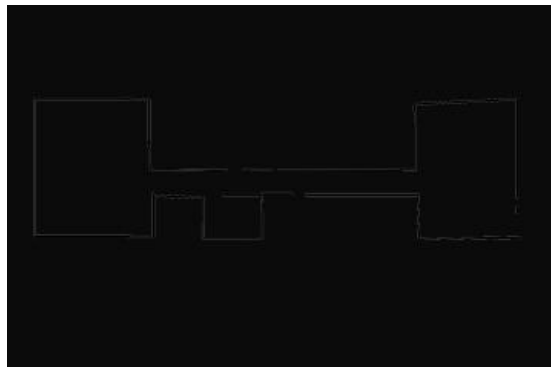
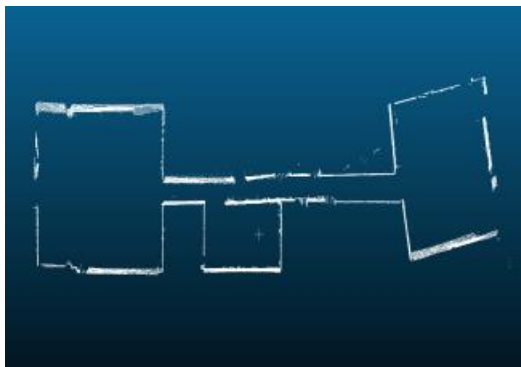
基于3D点云的建筑图纸自动测绘技术主要成效

□ 成果

本技术在民众乐园测绘中，多次进行了实践，并取得了良好效果。下图为武汉民众乐园建筑内检测到的地板和天花板点云。

在整个墙壁检测过程中，我们首先从输入的3D点云中移除了地板和天花板。然后，我们从点云中检测线，通过提出的**高效线检测算法**，综合考虑了从传感器输入的缺失三维点和噪声，该算法比现有的快线检测算法和霍夫变换算法效率更高。

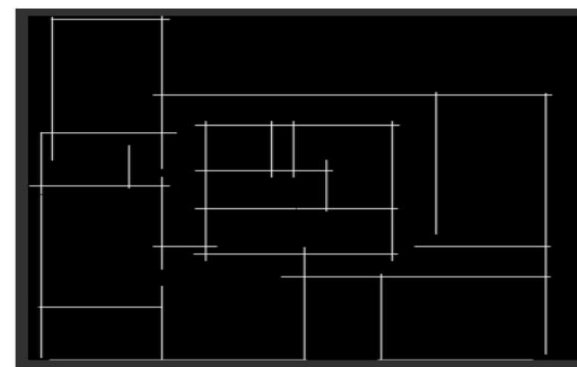
下图展示了线检测算法的比较结果（右图为传统算法，左图为我们提出的算法），从图中看出我们提出的算法明显优于传统算法。



原始点云扫描图



初步处理后的图纸



基于3D点云的建筑图纸自动测绘技术主要成效

国家重点研发计划“科技冬奥”重点专项（2018YFF0300301）

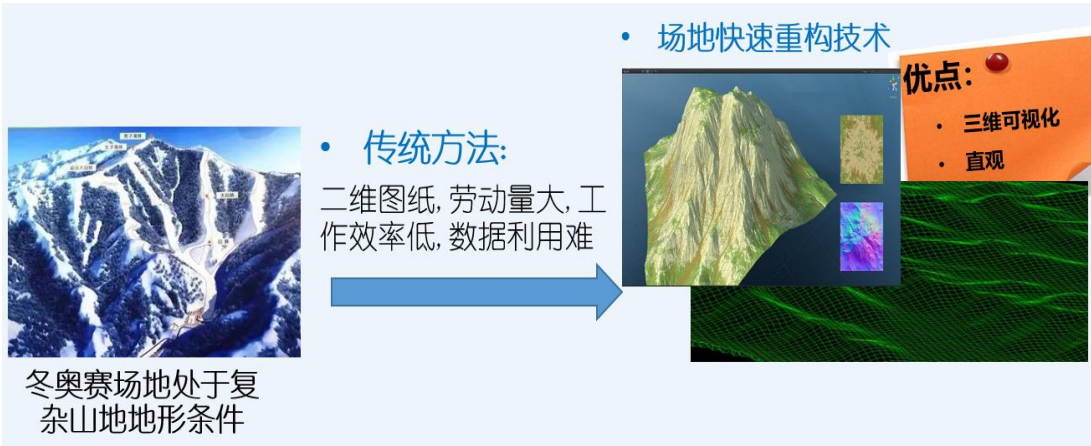
□ 复杂山地条件下场地泛场景建模技术研究

冬奥赛场地处于复杂山地地形条件

传统方法：
二维图纸，劳动量大，工作效率低，数据利用难

场地快速重构技术

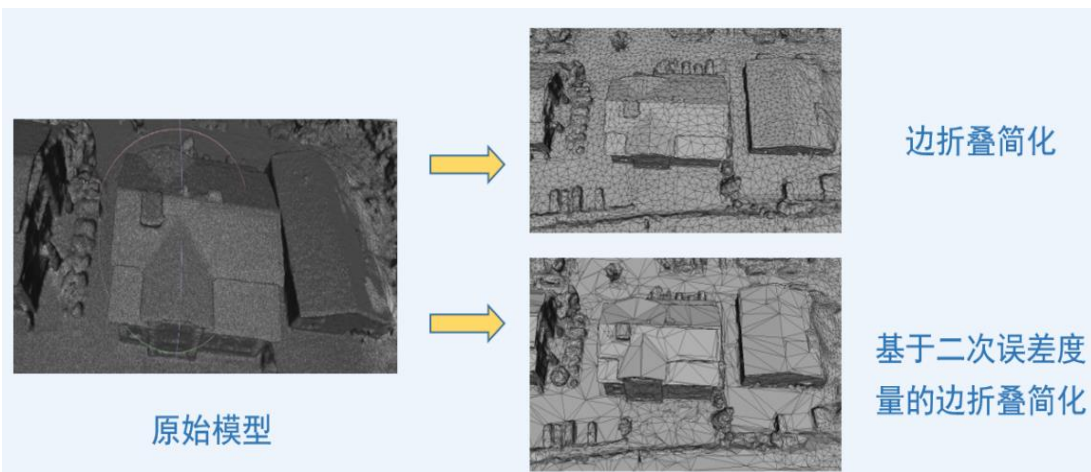
优点：
• 三维可视化
• 直观



原始模型

边折叠简化

基于二次误差度量的边折叠简化

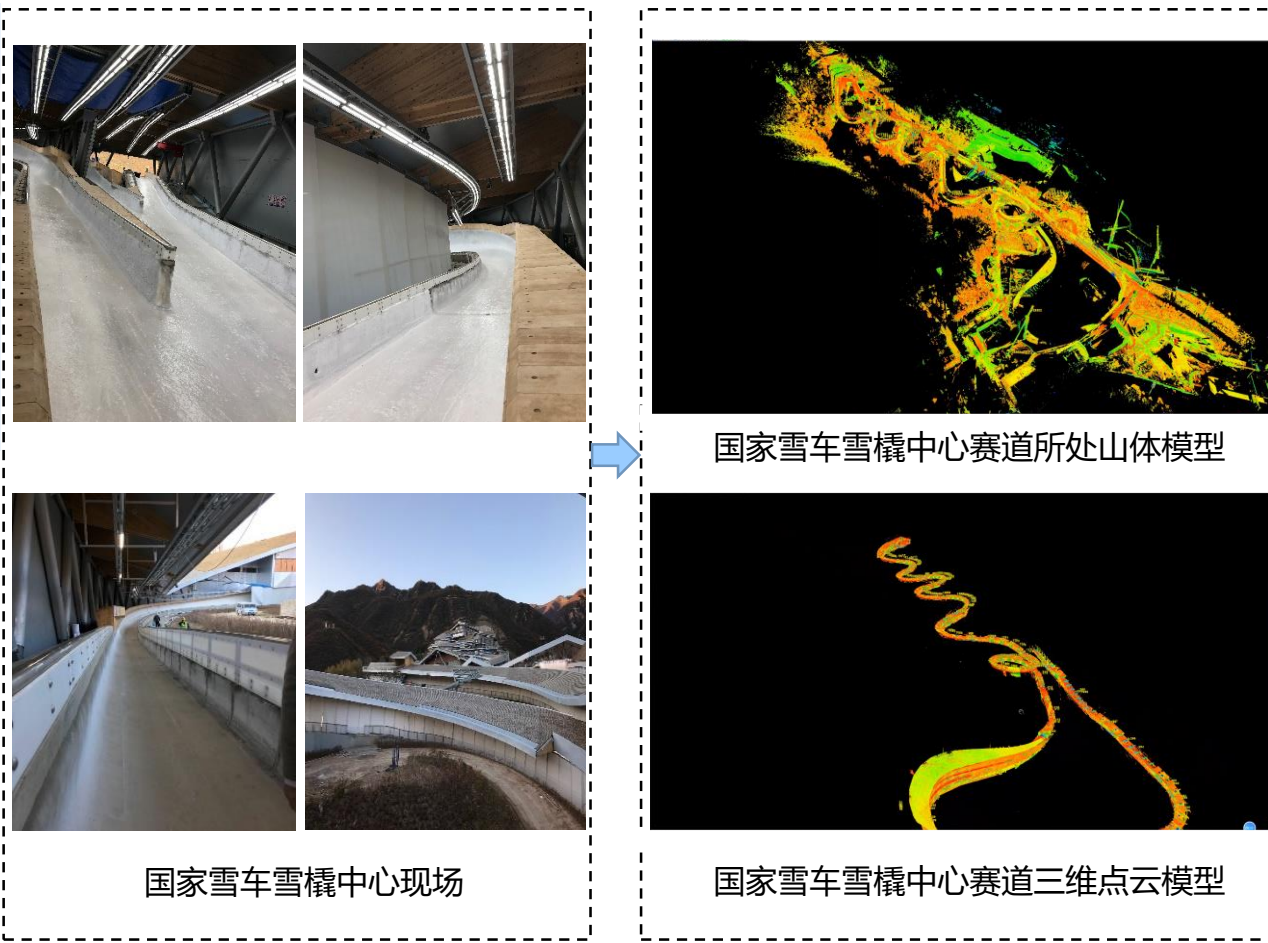


□ 智能雪车雪橇赛道和竞技训练关键技术研究

国家雪车雪橇中心现场

国家雪车雪橇中心赛道所处山体模型

国家雪车雪橇中心赛道三维点云模型



盾构隧道参数化建模方法与应用研究

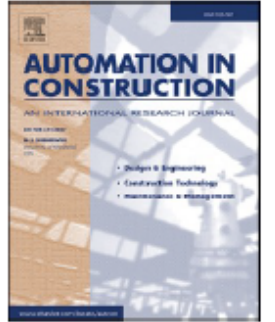
Automation in Construction 134 (2022) 104052



Contents lists available at ScienceDirect

Automation in Construction

journal homepage: www.elsevier.com/locate/autcon



Parametric modeling for detailed typesetting and deviation correction in shield tunneling construction

Hanbin Luo^a, Linhao Li^{a,b}, Ke Chen^{a,*}

^a School of Civil and Hydraulic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, China

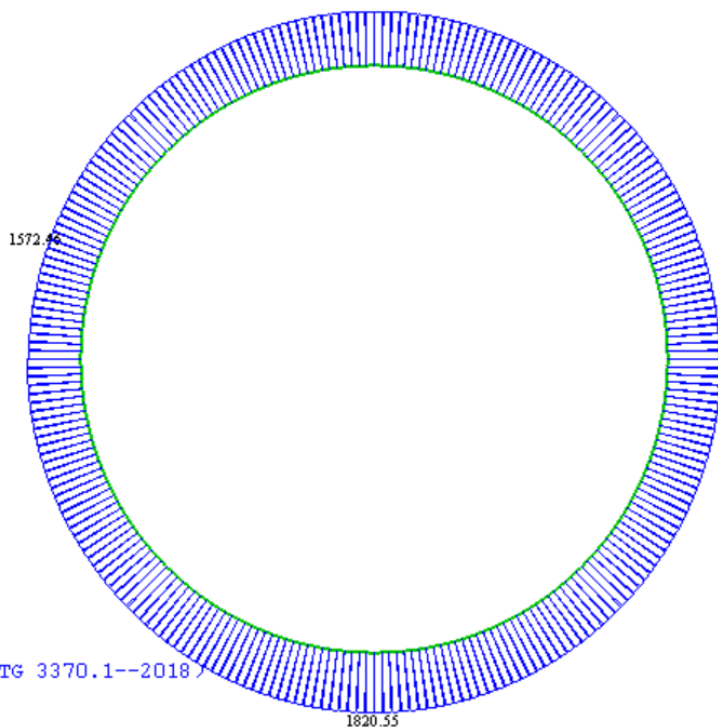
^b Institute of Artificial Intelligence, Huazhong University of Science and Technology, China



盾构隧道参数化建模方法与应用研究

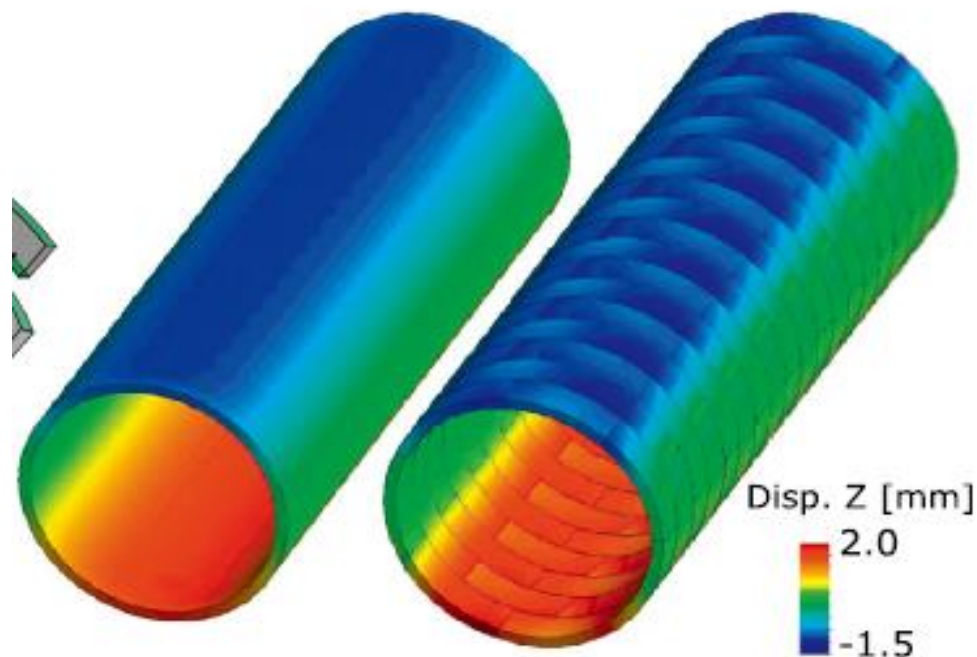
□ 地下工程结构计算比较

轴力图
施工期工况
施工步: 0
最大值
△ 1820.552kN/环 EID: 186
最小值
★ 1572.458kN/环 EID: 111
红点代表管片接头
黑点代表纵向接头
2022/1/26 10:35:23



断面名称: 隧道断面_1
解决方案: 隧道断面_1 方案1
所选规范: 公路隧道设计规范 (JTG 3370.1--2018)
计算方法: 修正惯用法 (有限元)
当前工况: 施工期工况
荷载组合: 管片自重+节点约束+土柱法 (γh)+地层弹簧+注浆荷载

设计院的计算过程



前沿的设计过程

现有的设计水平与前沿设计在**规范、方法**存在差距

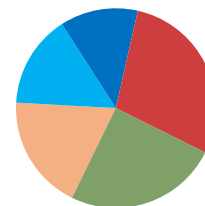
盾构隧道参数化建模方法与应用研究

盾构管片结构设计、计算

单位	研究项目	研究内容
中铁第四勘察设计院	盾构隧道的环间凹凸榫结构设计	圆端形凹凸榫的盾构管片环间抗剪结构
西南交通大学	隧道管片的结构计算	盾构隧道结构计算分析方法研究
同济大学	隧道管片接头性能试验	盾构隧道纵缝接头极限状态试验研究
University of Nottingham	盾构隧道的参数化BIM建模	盾构隧道管片的设计-分析流程：BIM-IGA

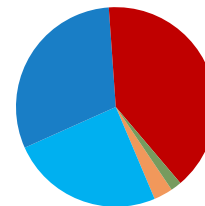
近三年国内相关课题文献统计 (单位: 篇)

- 盾构管片模型设计与排布 8篇
- 盾构隧道结构构件研究 6篇
- 盾构隧道的结构计算 15篇
- 地质数字化建模 30篇



近三年国外相关课题文献统计 (单位: 篇)

- 盾构隧道BIM应用研究 10篇
- 盾构隧道管片建模及设计 4篇
- 隧道隧道的结构稳定性 20篇
- 隧道隧道的结构构件 4篇



数据来源: 百度学术, WOS (被引次数 > 0)

问题总结一:

有关盾构隧道的结构-地质一体化的设计研究**仍然不足**

问题总结二:

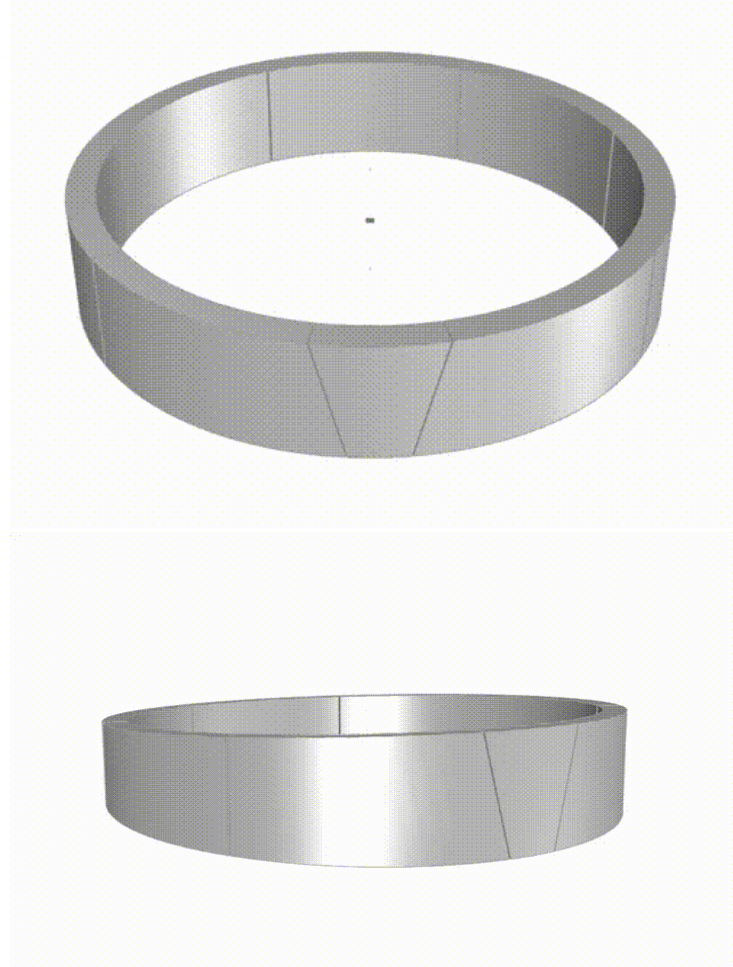
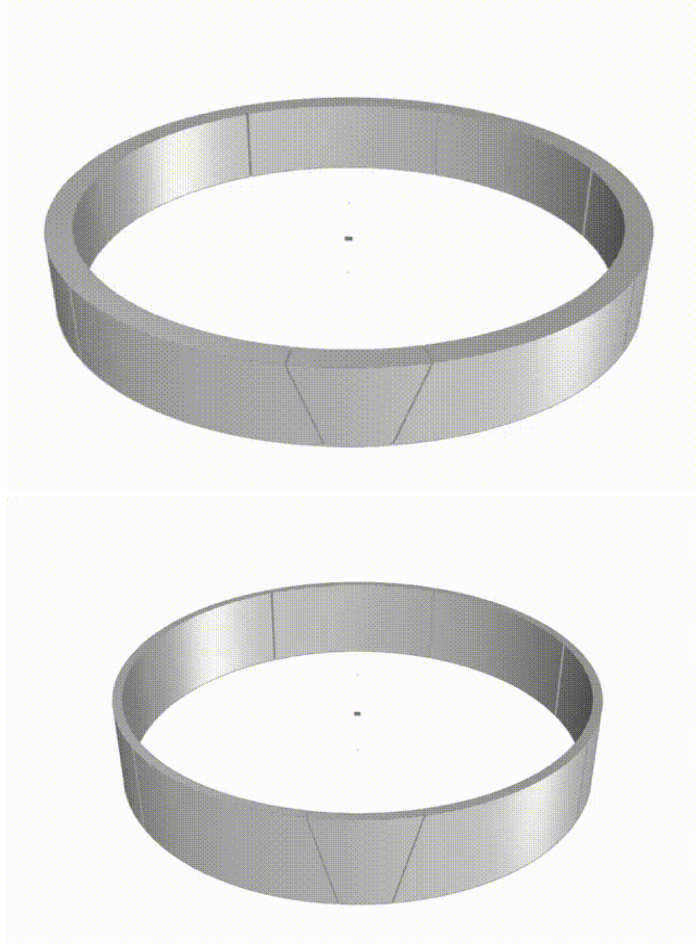
榫卯接头下的盾构管片设计研究**亟待扩展**

问题总结三:

盾构隧道的参数化受力计算分析**尚属空白**

盾构隧道参数化建模方法与应用研究

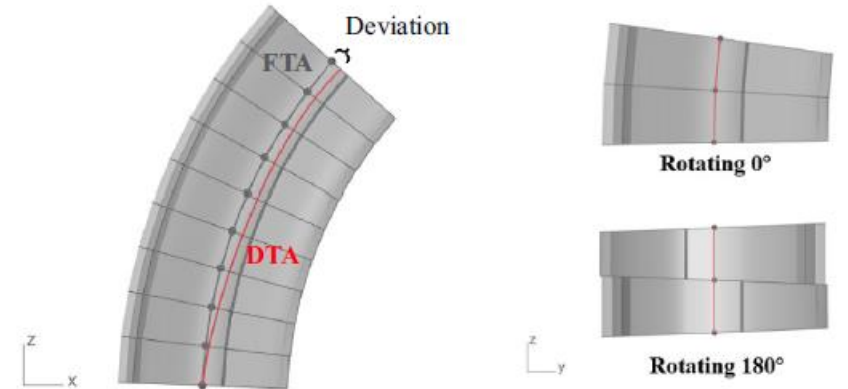
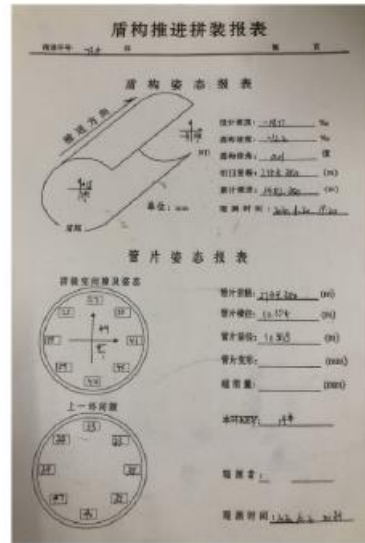
□ 盾构管片的参数化建模



面向盾构管片形态特征**建立**关联几何与拓扑关系

盾构隧道参数化建模方法与应用研究

□ 盾构隧道的排片问题



实际中的每环排片计算方法**依赖**人工经验，持续时间接近**30分钟**

* 数据来源：盾构施工项目现场调研

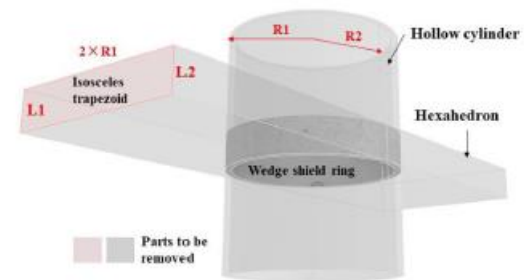
盾构隧道参数化建模方法与应用研究

盾构隧道的自动排片

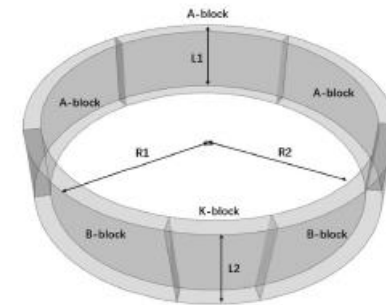
Input: bottom and top length of isosceles trapezoid in hexahedron, $L1$ and $L2$; outside and internal radius of hollow cylinder, $R1$ and $R2$; total number of the blocks, n ; radius angle of K-block, x ; the length difference of top and bottom sides in K-block, $2\pi r \cdot \Delta\theta/360$;

Output: the object of the targeted wedge shield ring; the center axis of the ring

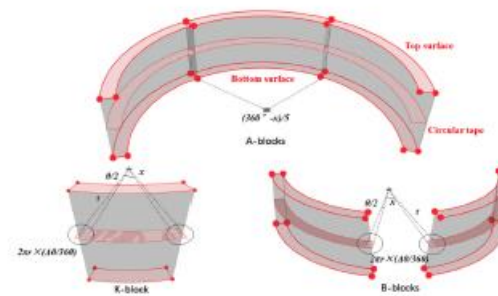
1. create the hollow cylinder object based on $R1, R2$
2. create the nonregular hexahedron object based on $R1, L1, L2$
3. create the center axis by linking the center points of the top and bottom surfaces of the nonregular hexahedron object
4. make Boolean intersection between the objects of hollow cylinder and nonregular hexahedron for generating the wedge ring
5. create the horizontal circular tape between the top and bottom surfaces of the wedge ring
6. divide the circular tape into n blocks based on radius angle $(360^\circ - x)/(n-1)$
7. project the circular tapes on top and bottom surfaces of nonregular hexahedron with length difference $2\pi r \cdot \Delta\theta/360$
8. select the projected surfaces (K, B's top and bottom) and create the K-, B-blocks by using *Blend Box*
9. select the projected surfaces (A's top and bottom) and create the A-blocks by using *Blend Box*
10. **return** the object of center axis; the objects of K-, B-, A- blocks



(a) Overall shape of a wedge shield ring



(b) Connection of K, B, and A-blocks to form a shield ring



(c) Segments of the shield ring

Fig. 4. Parametric modeling of the wedge shield ring.

基于关联几何建立单环管片的自动建模程序

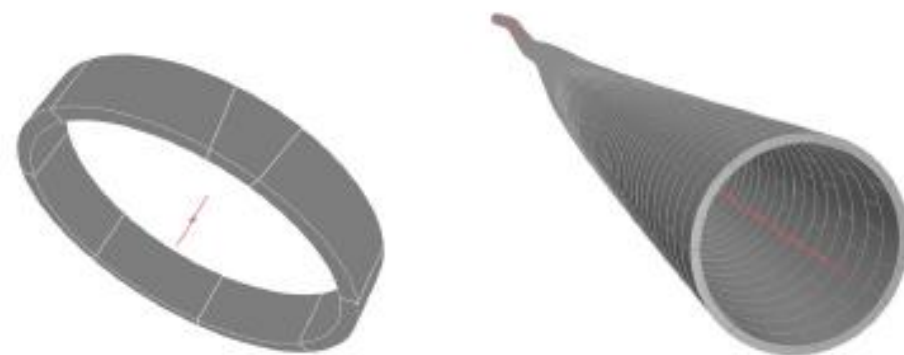
盾构隧道参数化建模方法与应用研究

□ 盾构隧道的自动排片

1. append the object x_i in the objects list of assembled wedge shield rings [X_i]
2. append the object l_i in the objects list of center axis lines [l_i]
3. determine the plane of bottom side P_1 from the first wedge shield ring, X_1
4. determine the plane of top side P_2 from the first wedge shield ring, X_1
5. **for** $i=1$ to $n-1$ **do**
6. determine C_i, V_i from RP_i, P_i
7. determine $C_{(i+1)}, V_{(i+1)}$ from $RP_i, P_{(i+1)}$
8. move the object X_i as $X_{(i+1)}$ based on $C_i, V_i, C_{(i+1)}, V_{(i+1)}$
9. move the object l_i as $l_{(i+1)}$ based on $C_i, V_i, C_{(i+1)}, V_{(i+1)}$
10. move the object RP_i as $RP_{(i+1)}$ based on $C_i, V_i, C_{(i+1)}, V_{(i+1)}$
11. rotate the object X_i as $X_{(i+1)}$ with the rotation angle list[i], and based on $C_{(i+1)}, V_{(i+1)}, P_{(i+1)}$
12. rotate the object l_i as $l_{(i+1)}$ with the rotation angle list[i], and based on $C_{(i+1)}, V_{(i+1)}, P_{(i+1)}$
13. rotate the object R_i as $R_{(i+1)}$ with the rotation angle list[i], and based on $C_{(i+1)}, V_{(i+1)}, P_{(i+1)}$
14. append the object $X_{(i+1)}$ in the object list of assembled wedge shield rings [X_1, \dots, X_i]
15. append the object $l_{(i+1)}$ in the object list of center axis lines [l_1, \dots, l_i]
16. append the object $R_{(i+1)}$ in the object list of center points [RP_1, \dots, RP_i]
17. **end for** i
18. **return** the object list of assembled wedge shield rings [$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$]
19. **return** the object list of center axis [$l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$]

Table 2
Recorded assembly points and rotation angles during tunneling construction.

No. of rings	Assembly points	Rotation angles
1	14	229.04°
2	10	163.60°
3	2	32.72°
4	4	65.44°
...
1130	5	81.8°



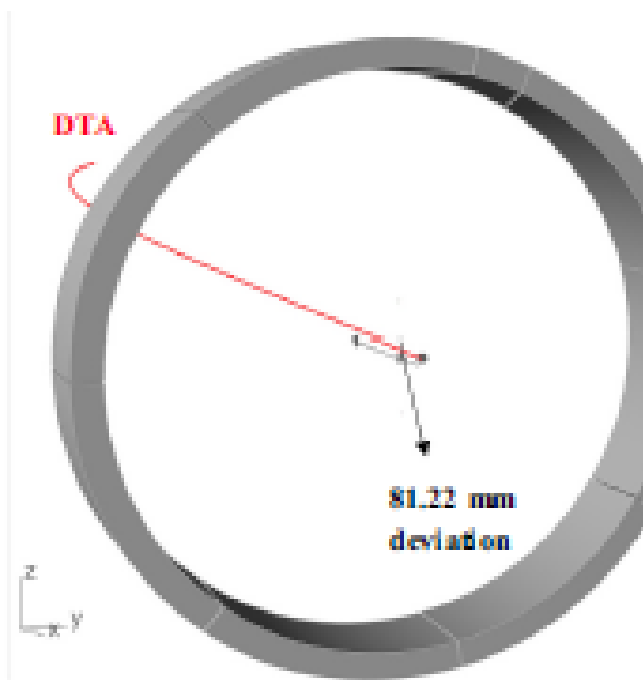
a) The generated segment with 8 blocks and its center axis (in red color) b) The generated tunnel and its FTA (in red color)

Fig. 6. The tunnel model generated from the PSTMM.

实现半自动排片，减少整体工作的重复和冗余

盾构隧道参数化建模方法与应用研究

盾构隧道的自动排片

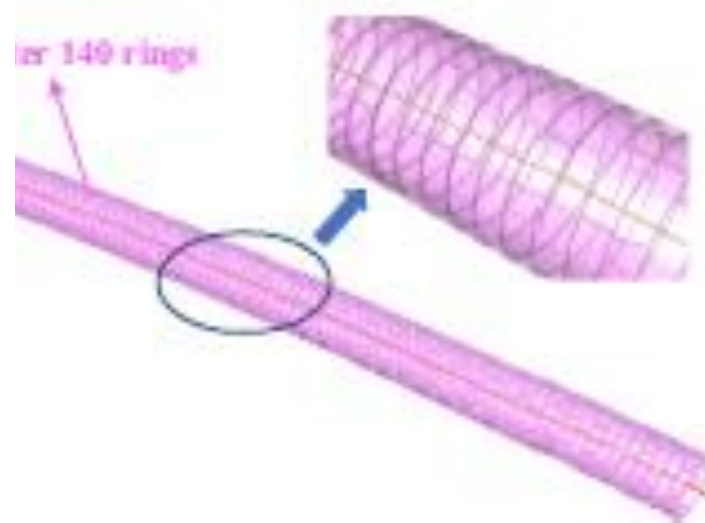


a) The No. 20 segmental ring has a relatively large deviation to

Input: the object of DTA curve, dt_a ; the constructed tunnel model from Algorithm 2, M_I ; the rotation angle selection for each ring, $list(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$; the threshold value for using the attitude index, D_v

Output: the optimum rotation angle, θ .

1. retrieve the center axis line of the last segmental ring as l_a from M_I
2. **for** $i=1$ to n **do**
3. rotate the object l_a with the rotation angle $list[i]$ based on the required plan in Algorithm 2
4. calculate the distance as d between the endpoint of l_a and dt_a
5. append d in the list of distance deviation, $[d_1, \dots, d_n]$
6. create the vector as V_a based on l_a
7. calculate the cosine similarity as s_I between V_a and dt_a
8. **if** $s_I < D_v$ **do**:
9. append s in the list of cosine similarity, $[s_1, \dots, s_n]$
10. **end for** i
11. **if** the list of cosine similarity, $[s_1, \dots, s_n]$ is *None* **do**:
12. calculate the minimum d_{min} in the list of deviation distances, $[d_1, \dots, d_n]$
13. search the order of d_{min} in the list of deviation distances, $[d_1, \dots, d_n]$ as I
14. retrieve the optimum rotation angle θ in $list(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ on the order of I
15. **else**:
16. calculate the maximum s_{max} in the list of cosine similarity, $[s_1, \dots, s_n]$
17. search the order of s_{max} in the list of cosine similarity, $[s_1, \dots, s_n]$ as I
18. retrieve the optimum rotation angle θ in $list(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ on the order of I
19. **return** the optimum rotation angle θ



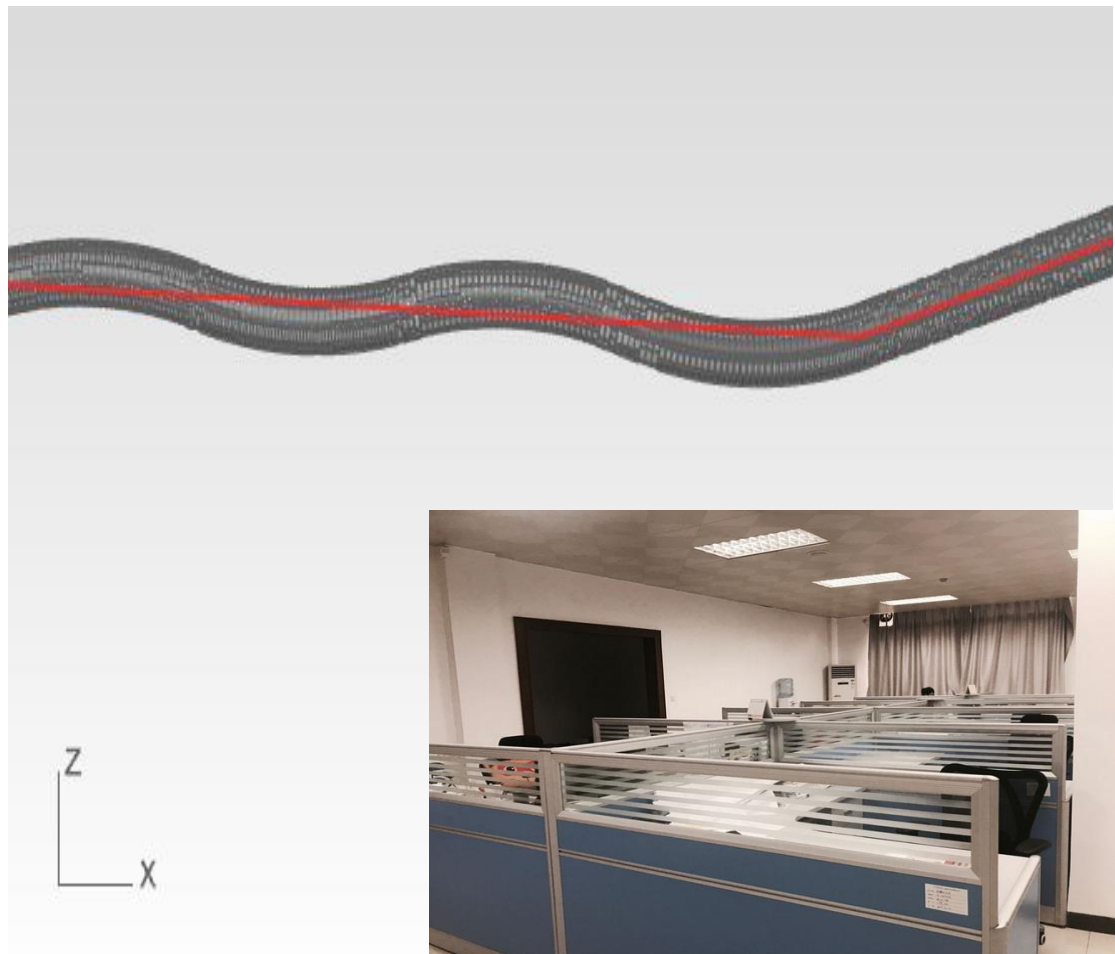
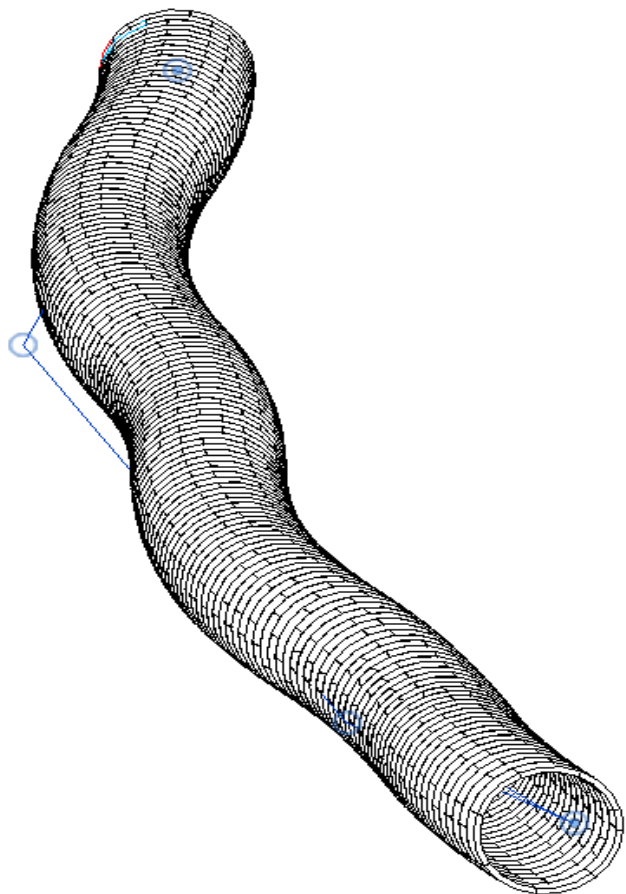
with a curved section of 800 m radius

on correction by the PSTMM.

实现智能化、全自动的管片排布与纠偏

盾构隧道参数化建模方法与应用研究

□ 盾构隧道的自动排片



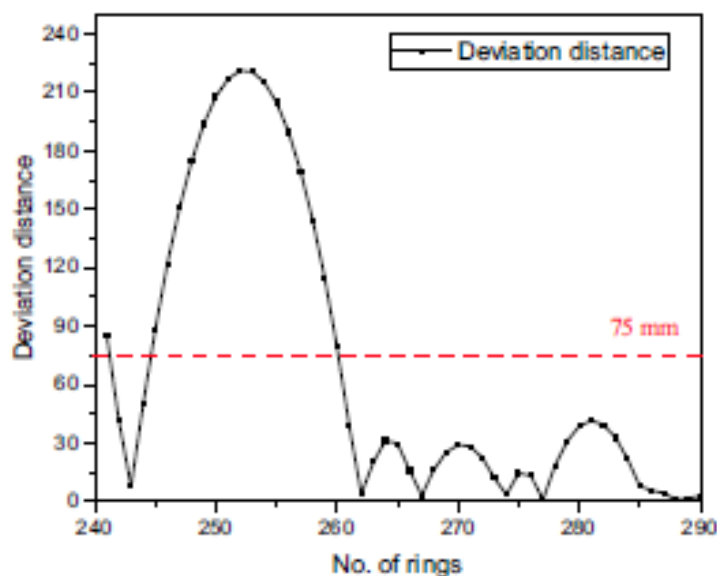
现有的排布算法存在**过度纠偏**现象

盾构隧道参数化建模方法与应用研究

盾构隧道的自动排片

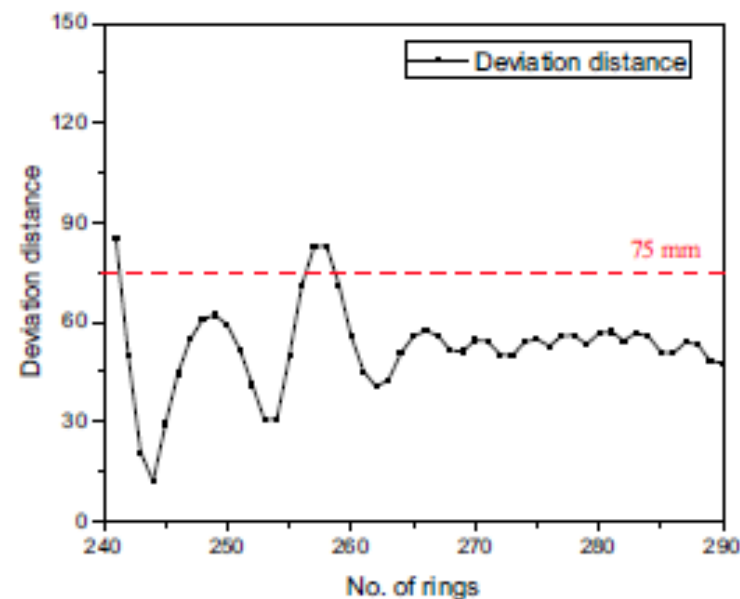
$$D = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}$$

$$\text{cosine similarity} = \cos(\theta) = \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{\|\vec{A}\| \|\vec{B}\|} = \frac{\sum_{i=1}^3 \vec{A}_i \times \vec{B}_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^3 (\vec{A}_i)^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^3 (\vec{B}_i)^2}}$$



b) Correction results obtained from the previous method

VS

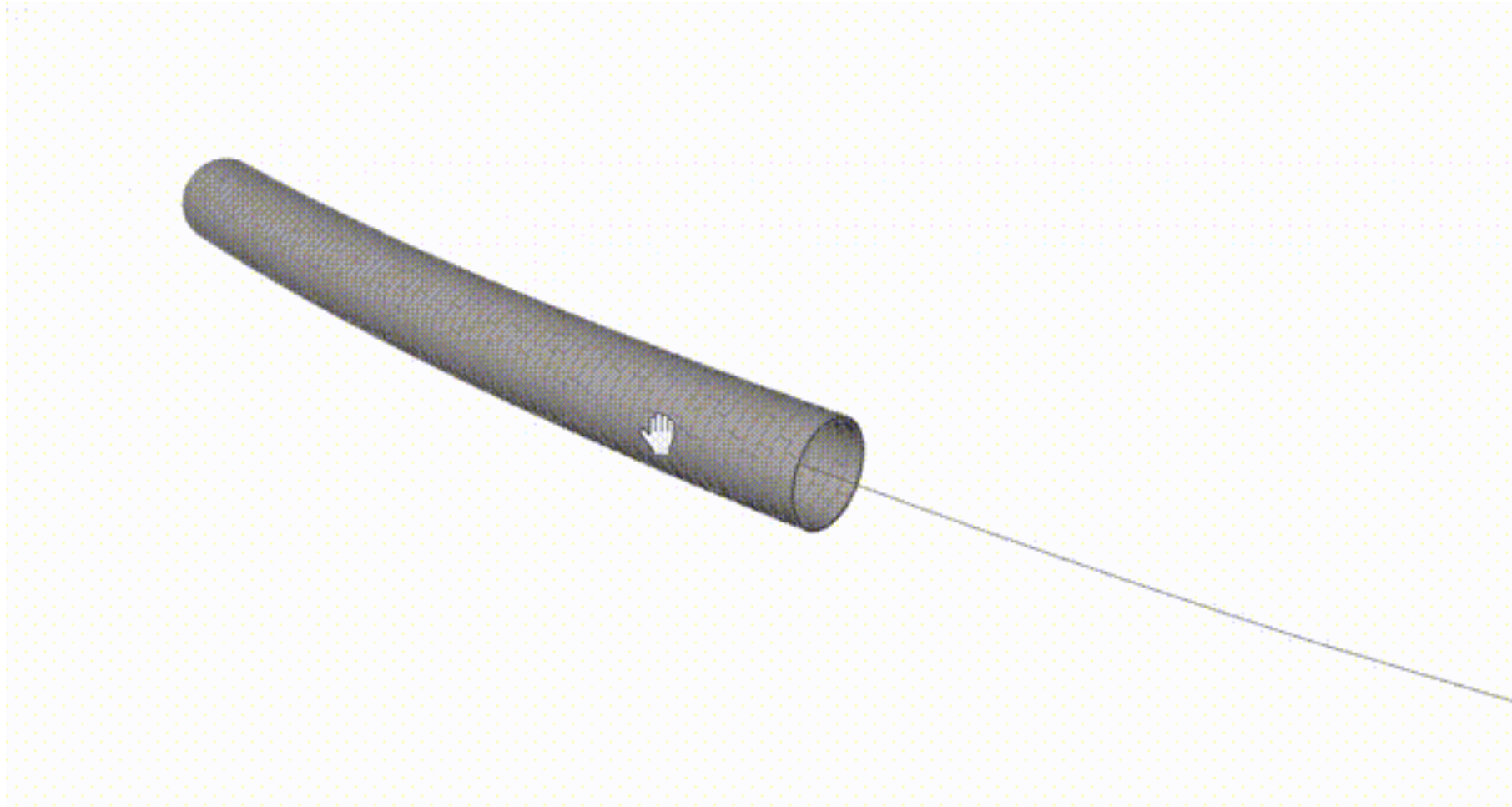


a) Correction results obtained from the PSTMM

结合欧氏距离与余弦相似度来**优化**排布算法

盾构隧道参数化建模方法与应用研究

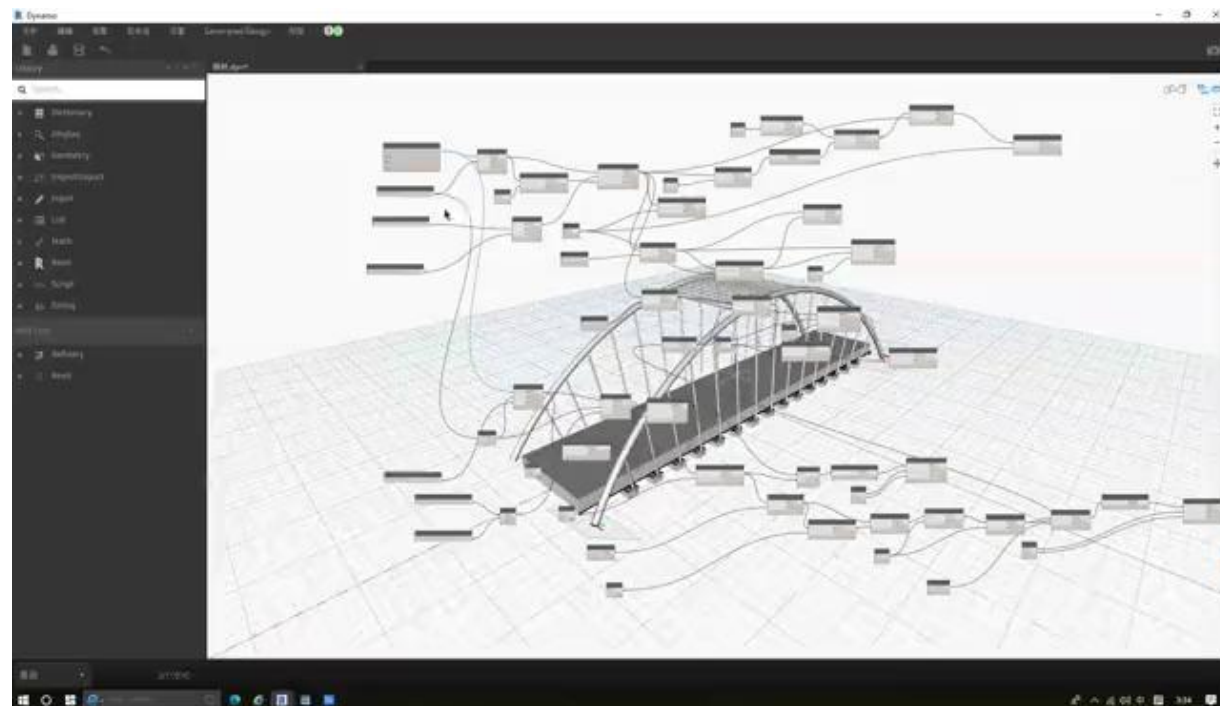
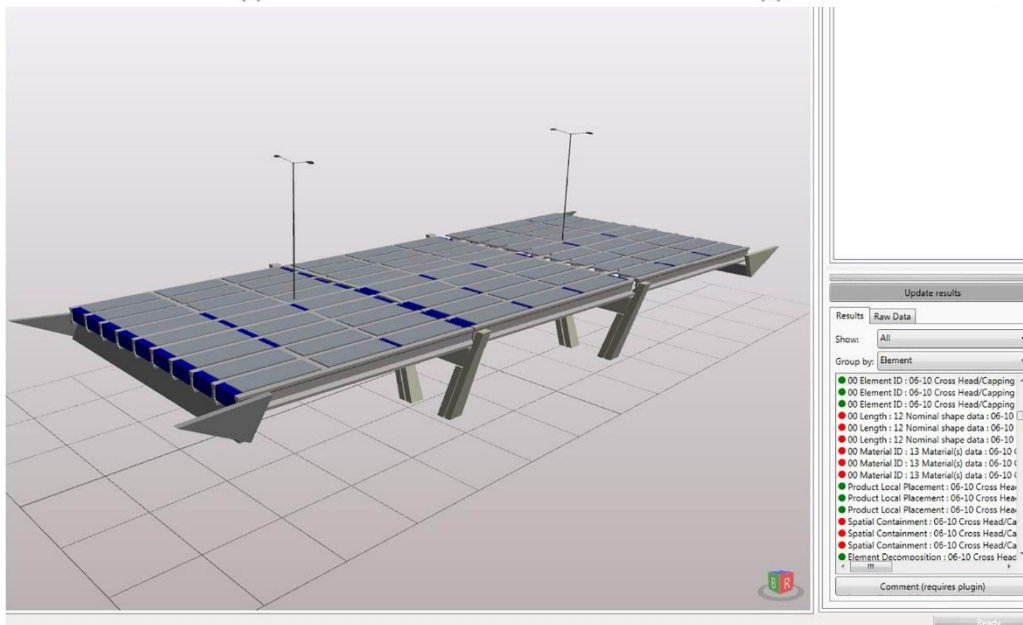
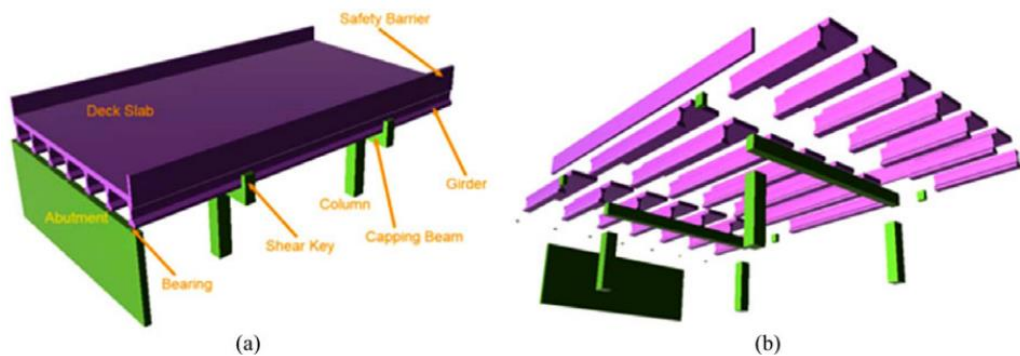
□ 盾构隧道的自动排片



基于轴线拟合优化的盾构管片排片算法研究成果

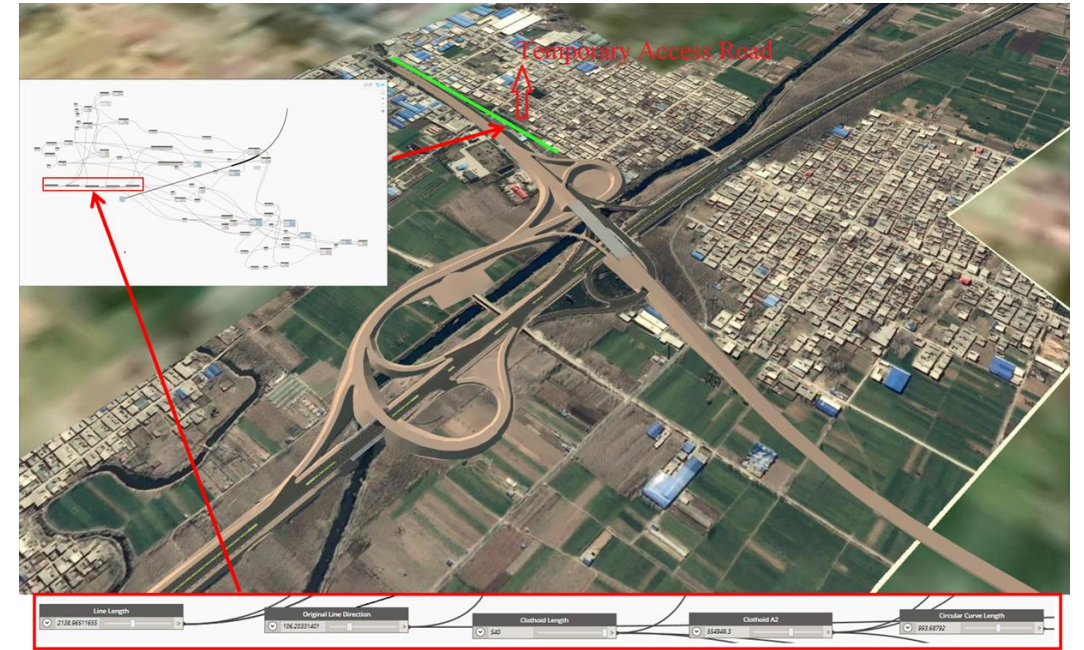
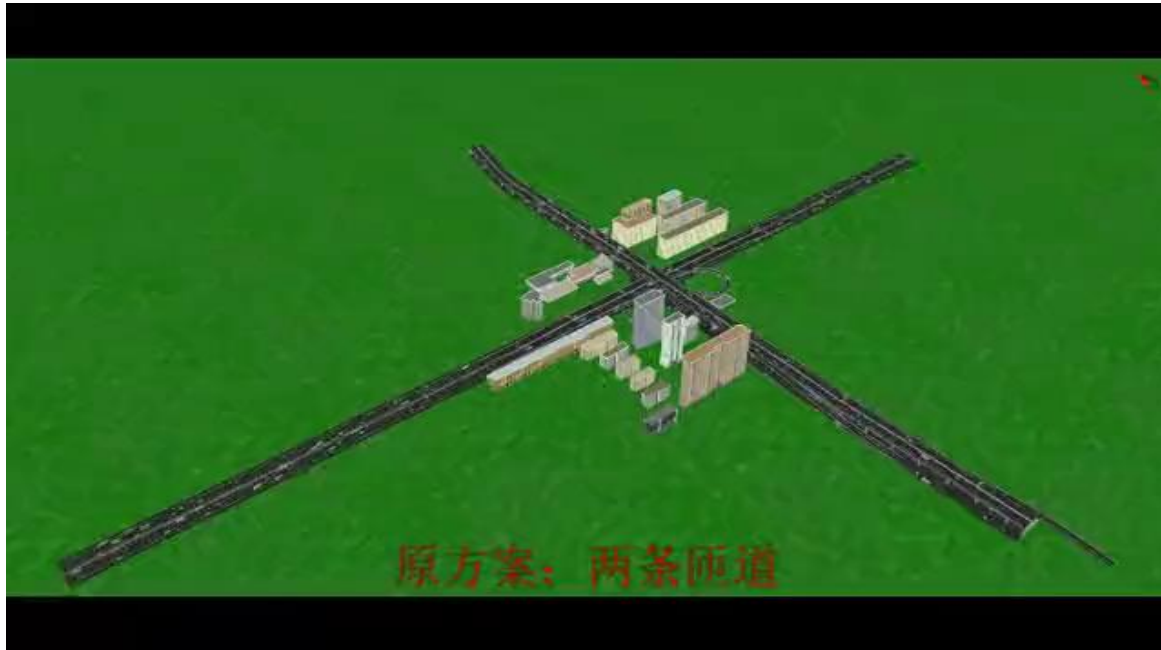
基于多目标优化的道桥生成式设计

- 研究道桥生成式设计方法，根据用户对道桥种类的要求以及环境参数等信息
- 已用于自动生成香港将军澳大桥设计方案



基于多目标的既有互通立交改造设计的自动生成

- 根据交通流量需求和对周边环境改造的限制提出多种互通立交改造方案
- 已对武汉光谷大道等地区的互通立交进行模拟分析

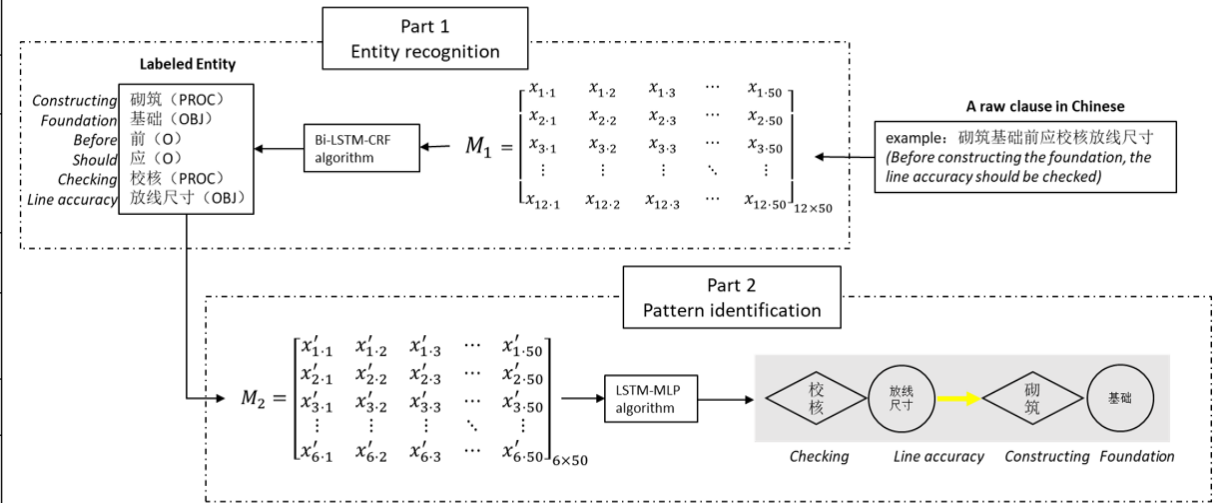


基于 IFC 和本体的建筑施工图合规性审查方法

研究开发本体驱动的建筑工程约束知识（半）自动抽取方法，形成了面向质安合规性审查的
建筑规范条文自动抽取模型，支持审图系统的开发与应用

序号 (No.)	备注 (Clause)	类别 (Pattern)	动作1 (Procedure 1)	对象1 (Object 1)	动作2 (Procedure 2)	对象2 (Object 2)	时间间隔 (Interval time)	
1	铺水泥砂浆或涂刷混凝土界面处理剂并及时浇筑混凝土 (Put a layer of cement mortar or brush a layer of concrete interface treatment agent, and then pour concrete immediately)	A1	铺、涂刷 (Putting or brushing)	水泥砂浆、界面处理剂 (Cement mortar or concrete interface primer)	浇筑 (Pouring)	混凝土 (Concrete)	0	
	图示 (Graphical representation)							
2	高强度大六角头螺栓连接副终拧完成1h后，48h内应进行终拧扭矩检查 (After the final screw of the connection pair of high-strength hexagonal bolt, the torque check should be done in 48 hrs)	A2	终拧 (Final Screw)	高强度大六角头螺栓连接副 (The connection pair of high-strength hexagonal bolt)	检查 (Checking)	终拧扭矩 (Torque)	≥ 48h (≥ 48 hrs)	
	图示 (Graphical representation)							
3	在浇筑混凝土前，木模板应浇水湿润，但模板内不应有积水 (Before pouring concrete, the wooden template should be watered to keep wet)	A3	浇水湿润 (Watering)	木模板 (Wooden template)	浇筑 (Pouring)	混凝土 (Concrete)	(Uncertainty)	
	图示 (Graphical representation)							
4	在完成焊接24h以后，进行焊缝外观检验 (After the welding, weld inspection should be done at least 24 hrs later)	A4	焊接 (Welding)	焊缝 (Welding line)	检验 (Inspecting)	焊缝外观 (Welding appearance)	≥ 24h (≥ 24 hrs)	
	图示 (Graphical representation)							
5	在焊缝冷却到环境温度后即可进行外观检查 (When the temperature of welding line cools to ambient temperature, the welding appearance inspection can be done)	B			检查 (Inspecting)	焊缝外观 (Welding appearance)	(前提条件) 焊缝冷却到环境温度 (Construction state) The temperature of welding line cools to ambient temperature	
	图示 (Graphical representation)							

施工工序约束的结构化表达

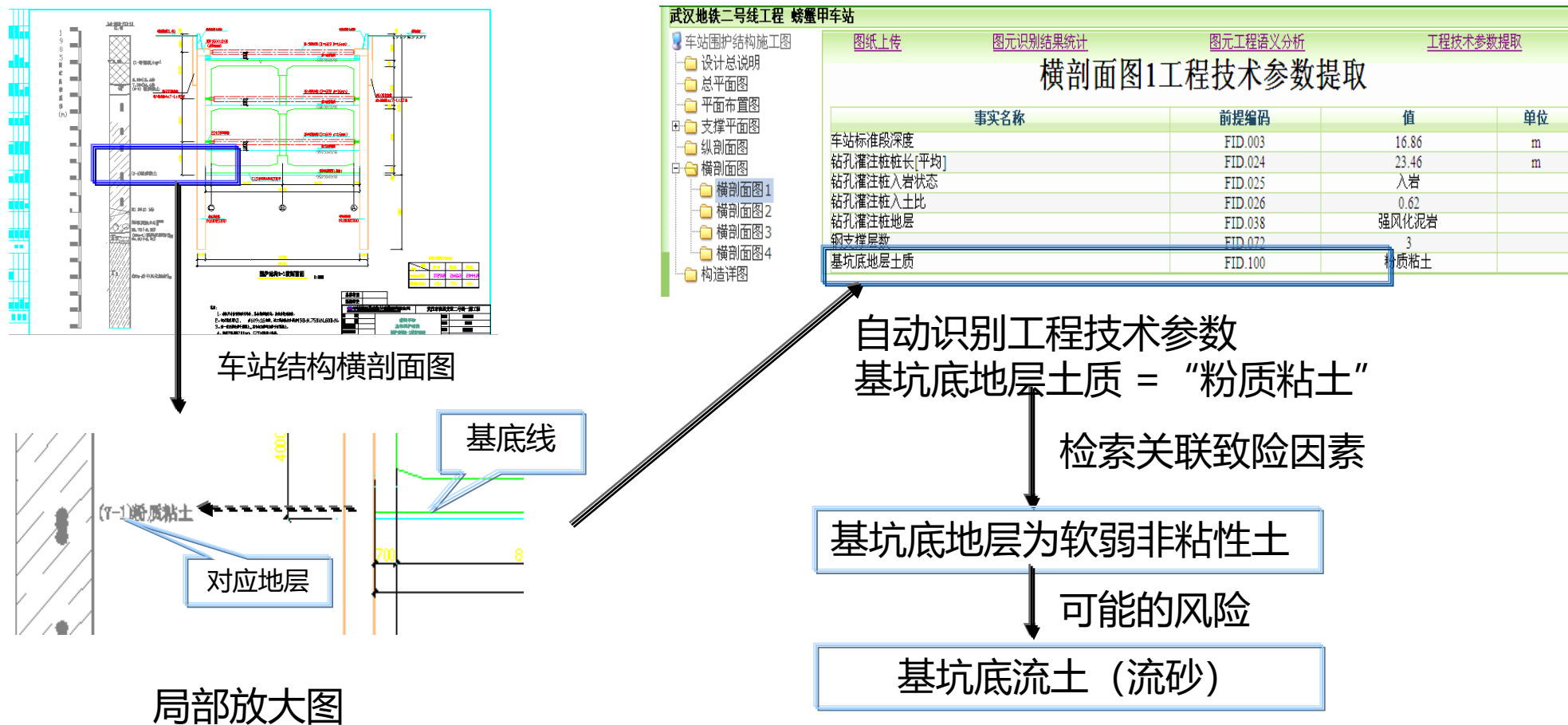


工序约束提取流程 (Part 1: 基于 Bi-LSTM-CRF 模型的工序实体识别和分类; Part 2: 基于 LSTM-MLP 模型的

工序模式识别)

基于BIM模型的深基坑工程施工方案自动图审方法

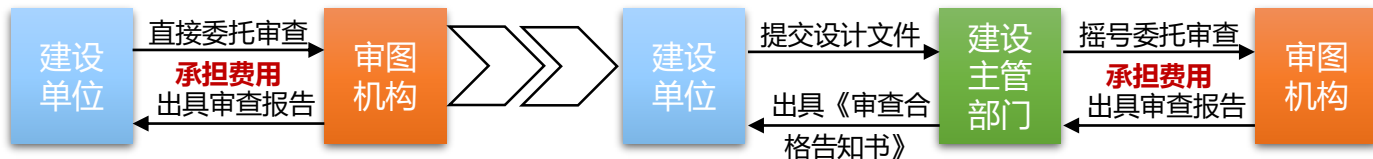
■ 地质水文类信息-基坑底地层识别与关联致险因素提取



引自：宫培松. 地铁车站工程施工方案安全评审研究[D]. 湖北:华中科技大学,2016

联合武汉市建委，推动改变设计审查服务业态

《基于工程图纸的地铁工程施工安全风险自动识别系统》(SRIS) 已成功应用于沈阳、武汉、郑州等城市地铁工程施工安全风险



华大施工图审查管理系统 (武汉市建设工程设计审查管理系统)

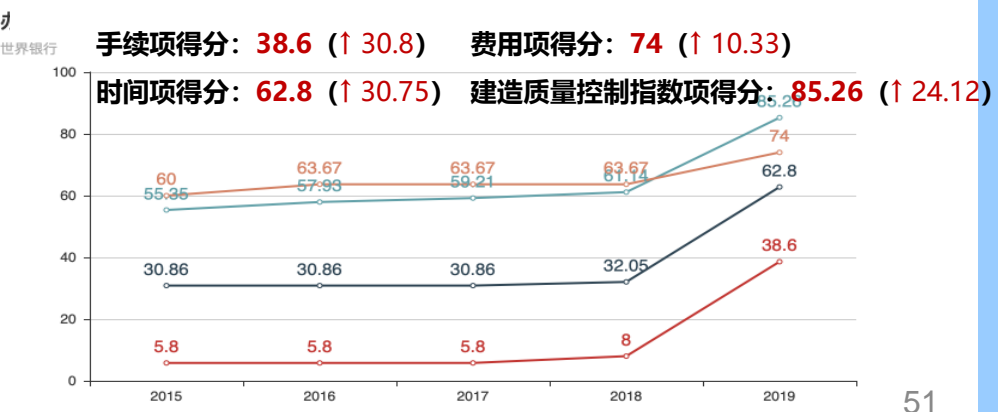
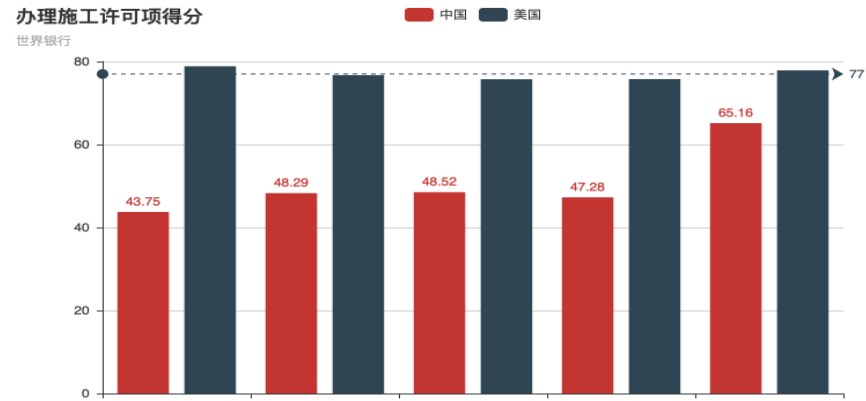
1 基于自然语言处理的设计规范语义结构化

建筑对象	建筑设计规范知识	SPARQL 审查规则
楼梯	每个梯段的踏步不应超过18级，亦不应少于3级	SELECT ?a ?b WHERE {?a rdf:type out:梯段. ?a out:踏步 ?b. filter ((?b<3) (?b>18))}
	按每股人流 0.55+(0-0.15)m 的人流股数确定，并不应少于两股人流	SELECT ?a ?b ?c WHERE {?a rdf:type out:梯段. ?a out:净宽 ?b. ?a out:人流股数 ?c. filter ((?c<2) (?b<0.55*?c))}
	楼梯梯段净宽不应小于1.10m	SELECT ?a ?b WHERE {?a rdf:type out:梯段. ?a out:净宽 ?b. filter (?b<1.10)}
	踏步宽度不应小于0.26m	SELECT ?a ?b WHERE {?a rdf:type out:梯段. ?a out:踏步宽度 ?b. filter (?b<0.26)}
	踏步高度不应大于0.175m	SELECT ?a ?b WHERE {?a rdf:type out:梯段. ?a out:踏步高度 ?b. filter (?b>0.175)}

2 BIM模型构件属性自动提取

3 基于本体的设计规范推理

4 审查报告输出



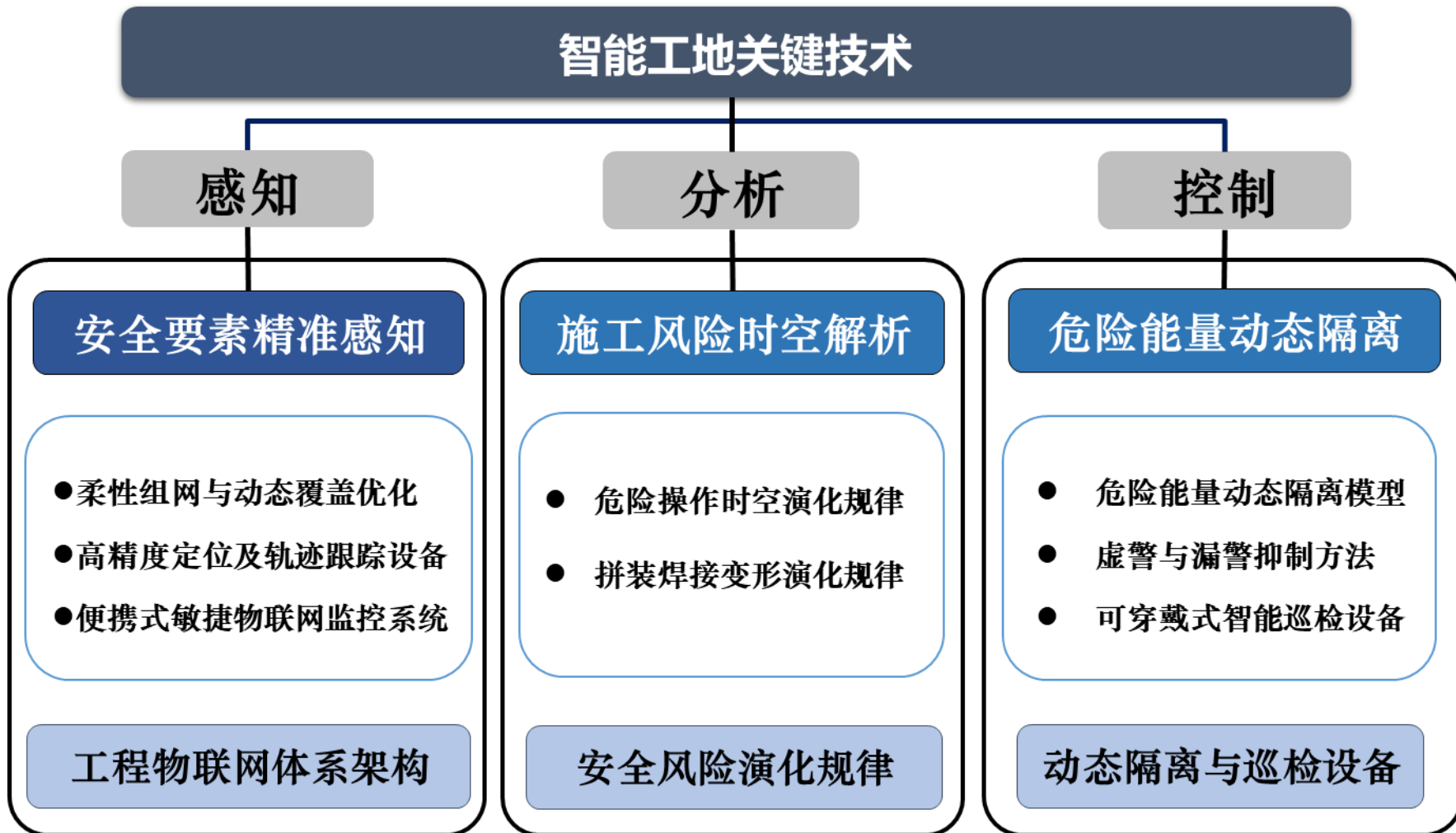


研究与实践

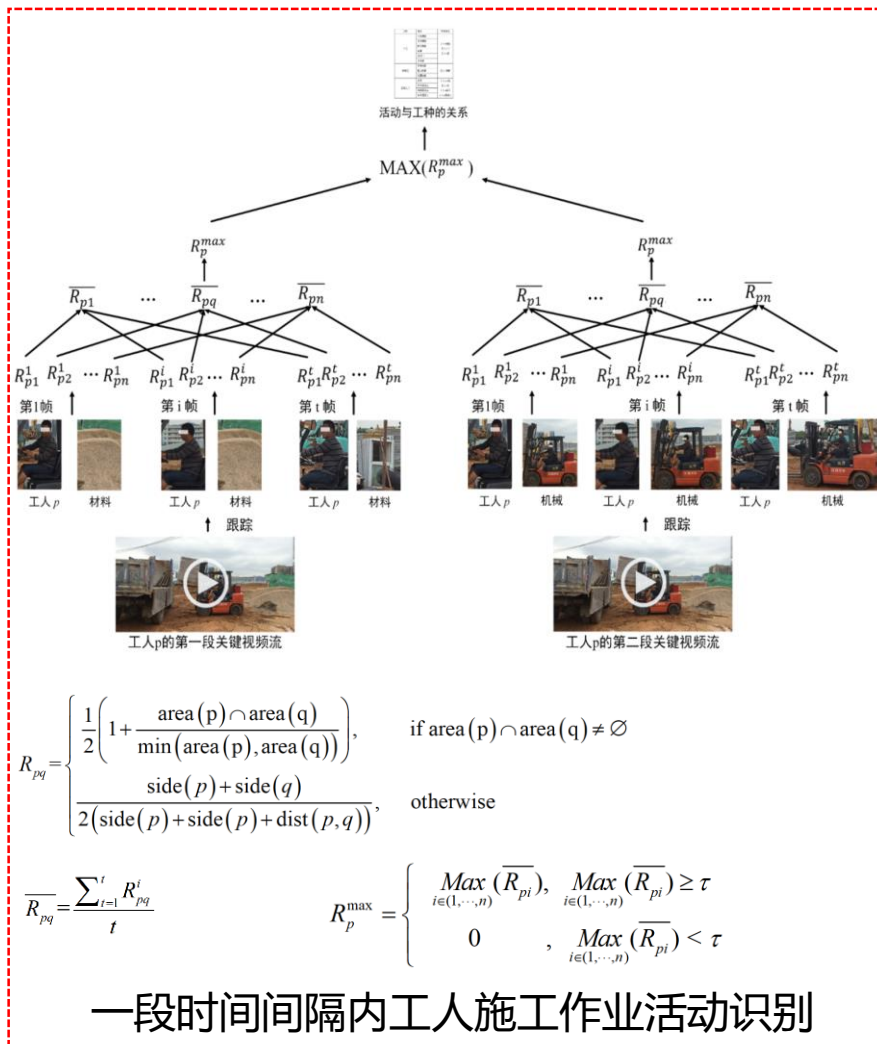
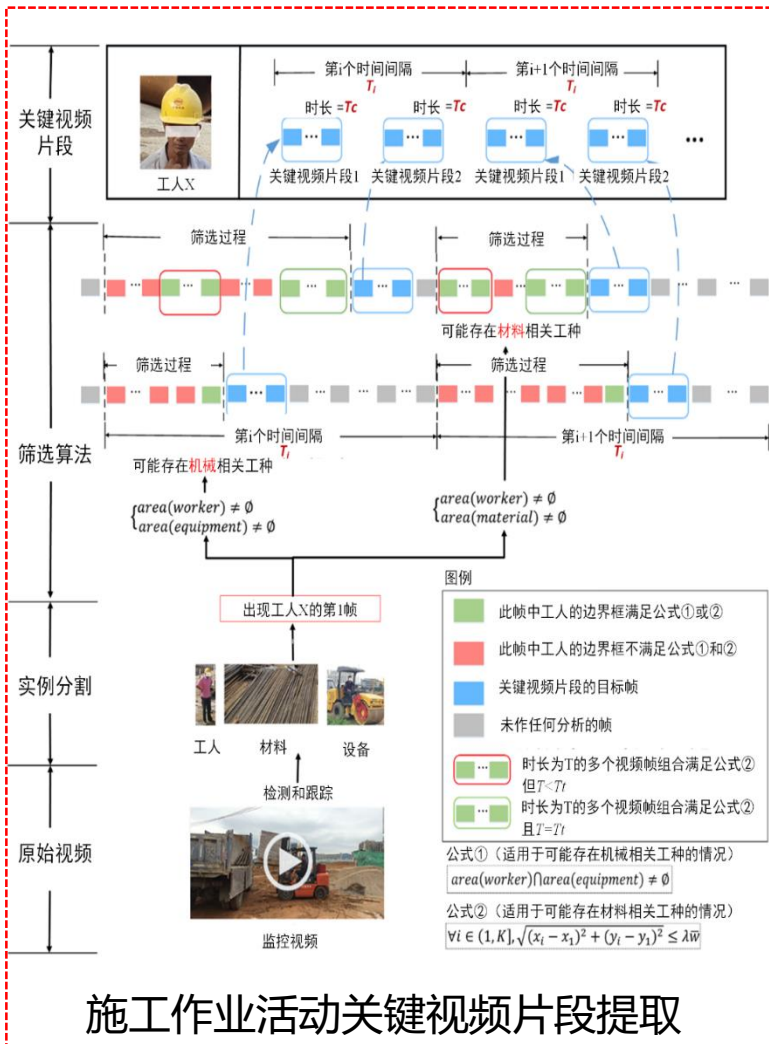
2. 智能工地

智能工地

智能工地强调利用物联网、云计算、大数据等现代信息技术，实现对建筑工地的人员、机械、材料、场地环境和施工过程的智能管理



基于时空人物交互的**施工工种识别**模型，支持行为合规性、效率分析等



工种	活动	存在空间关系的对象
木工	制作模板	工人、模板 工人、门 工人、窗
	安装模板	
	固定模板	
	拆模	
	安装门	
钢筋工	切断钢筋	工人、钢筋
	整合钢筋	
	放置钢筋	
混凝土工	投料	工人、水泥 工人、砂 工人、砾石 工人、混凝土
	拌和混凝土	
	浇筑混凝土	
	修补混凝土	
架子工	脚手架安装	工人、脚手架
	拆除脚手架	
起重机司机	操作起重机	工人、起重机
推土机司机	操作推土机	工人、推土机
挖掘机司机	操作挖掘机	工人、挖掘机

工种对应施工作业活动知识库

基于知识图谱的多规则耦合下多类别工人不安全行为识别语义模型

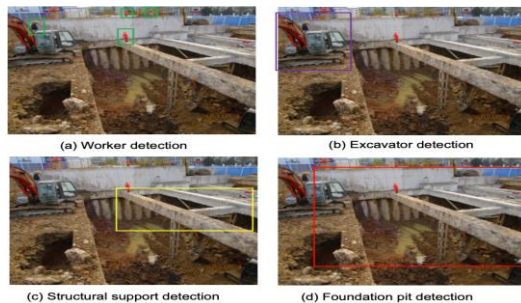
不安全行为本体建模

- 知识领域分类
- 专家经验
- 安全规范
- 施工报告
- 事故报告等



不安全行为本体

机器视觉场景检测与属性抽取



场景检测 (人-机-材-环)

$$[x', y', w'] = [u, v, 1] \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

空间距离计算 (仿射变换)

空间语义关系抽取

```

Notice: bounding boxes are organized in form of (ymin, xmin, ymax, xmax)
Safety Hazard A bounding box: [3, 190, 32, 252]
Safety Hazard B bounding box: [24, 405, 52, 437]
Person A bounding box: [4, 184, 291, 339]
Person B bounding box: [21, 402, 139, 478]
Structural Support A bounding box: [131, 29, 448, 573]
Structural Support B bounding box: [145, 4, 251, 221]
Structural Support C bounding box: [136, 4, 187, 144]
Structural Support D bounding box: [132, 3, 147, 67]
Foundation Pit A bounding box: [145, 6, 242, 204]

Judge the relationship
Person A in (261.5, 147.5) and Structural Support A in (301.0, 289.5) has iou: 0.129077253777.
Person A in (261.5, 147.5) and Structural Support B in (112.5, 198.0) has iou: 0.0617006214112.
Person A in (261.5, 147.5) and Structural Support C in (74.0, 161.5) has iou: 0.
Person A in (261.5, 147.5) and Structural Support D in (35.0, 139.5) has iou: 0.
Person A in (261.5, 147.5) and Foundation Pit A in (301.5, 287.0) has iou: 0.12238452428.
Person B in (440.0, 80.0) and Structural Support A in (301.0, 289.5) has iou: 0.00336268306712.
Person B in (440.0, 80.0) and Structural Support B in (112.5, 198.0) has iou: 0.035163838081.
Person B in (440.0, 80.0) and Structural Support C in (74.0, 161.5) has iou: 0.
Person B in (440.0, 80.0) and Structural Support D in (35.0, 139.5) has iou: 0.
Person B in (440.0, 80.0) and Foundation Pit A in (301.5, 287.0) has iou: 0.00533632916725.
Structural Support A in (301.0, 289.5) and Structural Support B in (112.5, 198.0) has iou: 0.900580994214.
Structural Support A in (301.0, 289.5) and Structural Support C in (74.0, 161.5) has iou: 0.242354298904.
Structural Support B in (112.5, 198.0) and Structural Support C in (74.0, 161.5) has iou: 0.118886153076.
Structural Support C in (74.0, 161.5) and Structural Support D in (35.0, 139.5) has iou: 0.093560145808.
Structural Support C in (74.0, 161.5) and Foundation Pit A in (301.5, 287.0) has iou: 0.0367354608374.
Structural Support D in (35.0, 139.5) and Foundation Pit A in (301.5, 287.0) has iou: 0.004773442304.
    
```

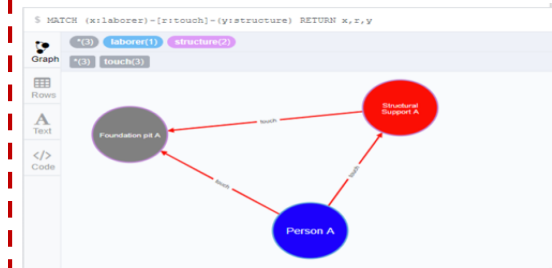
Classes and coordinate information

Relationship extraction

基于知识地图的数据推理

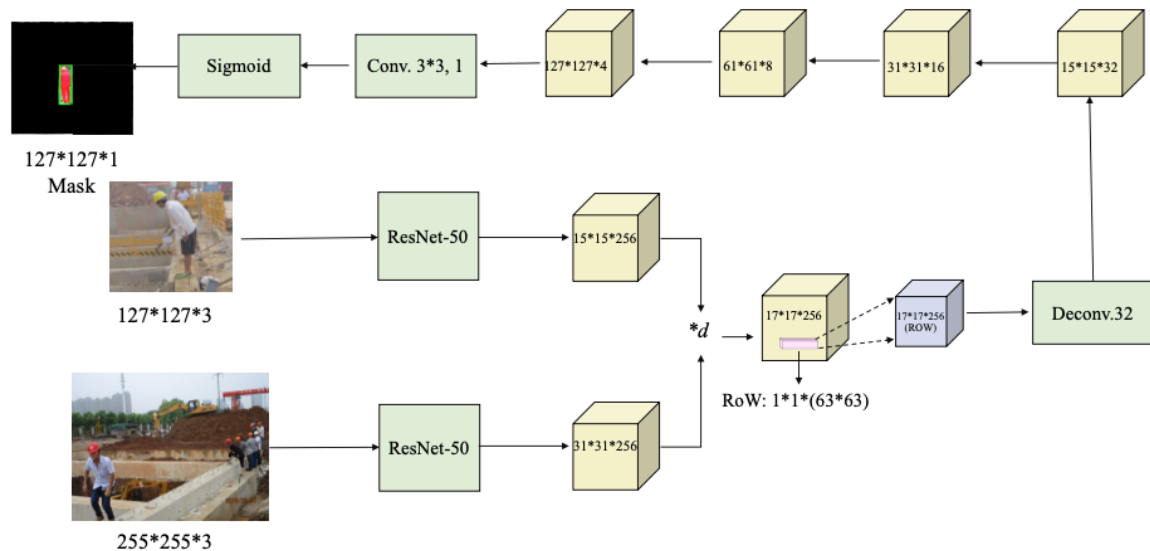


数据建模

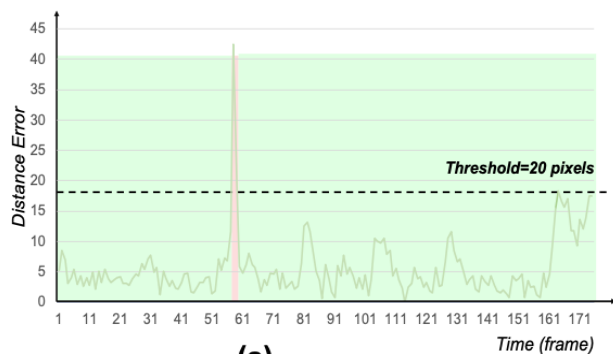


行为推理与识别

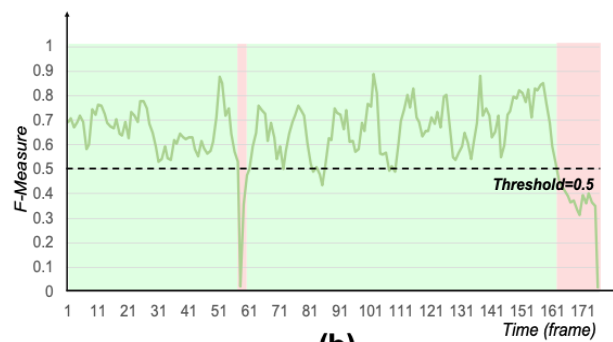
基于行为轨迹的现场工人不安全行为预测方法



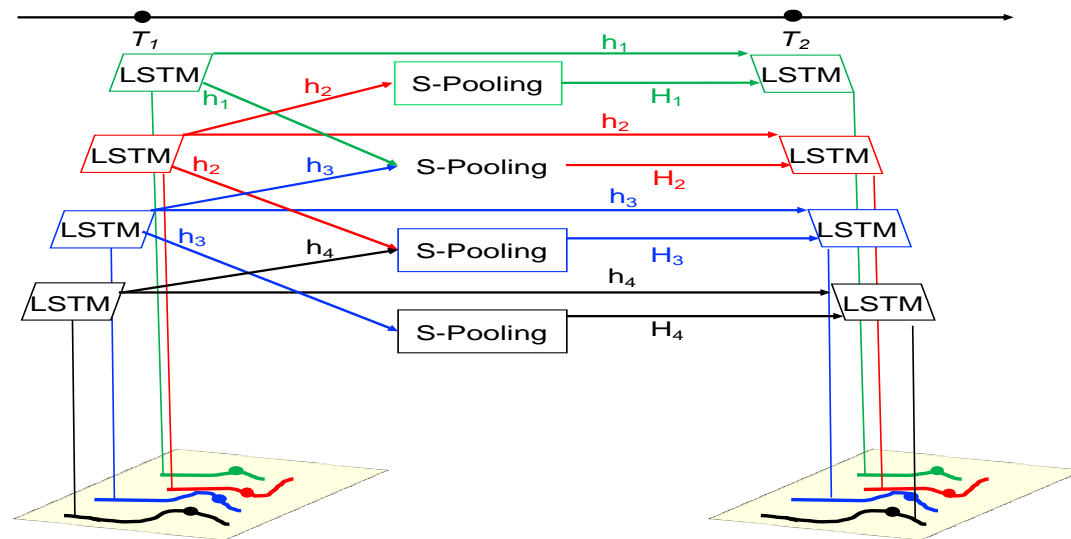
基于CNN的工人行为跟踪模型



(a)



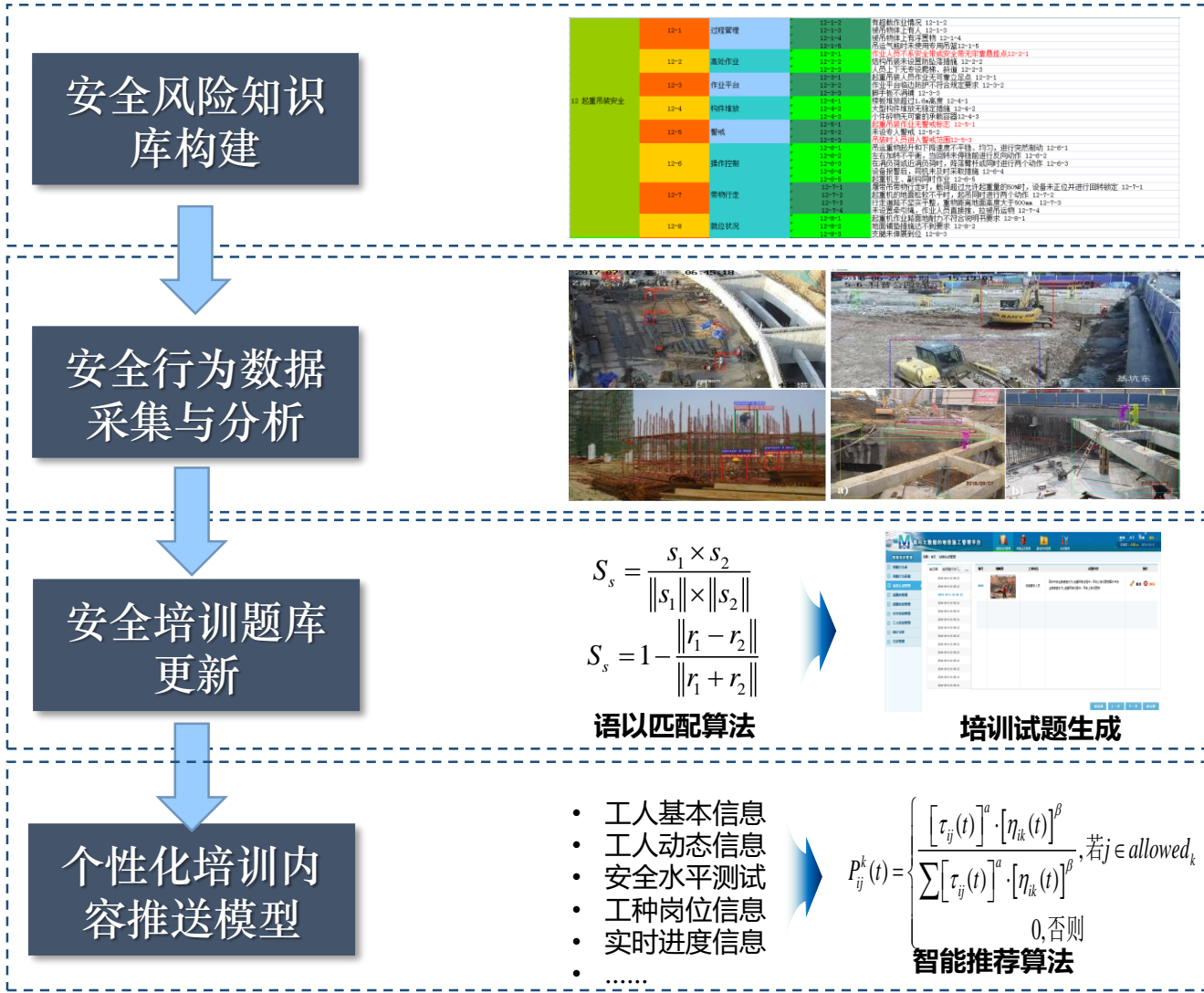
(b)



基于LSTM的工人轨迹预测模型

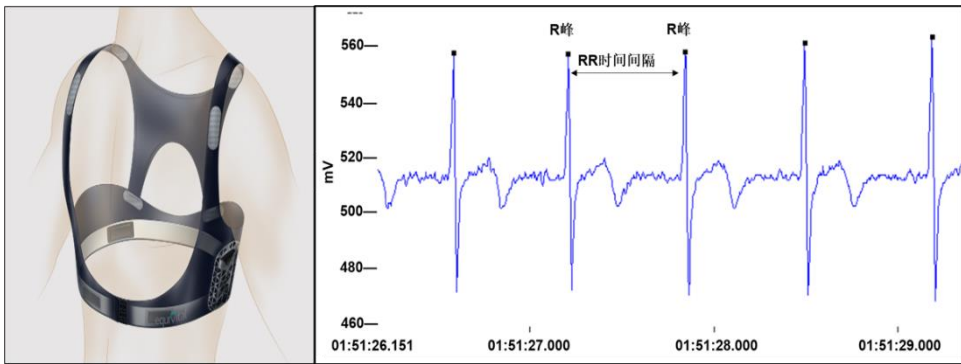


基于大数据的工人不安全行为个性化培训平台

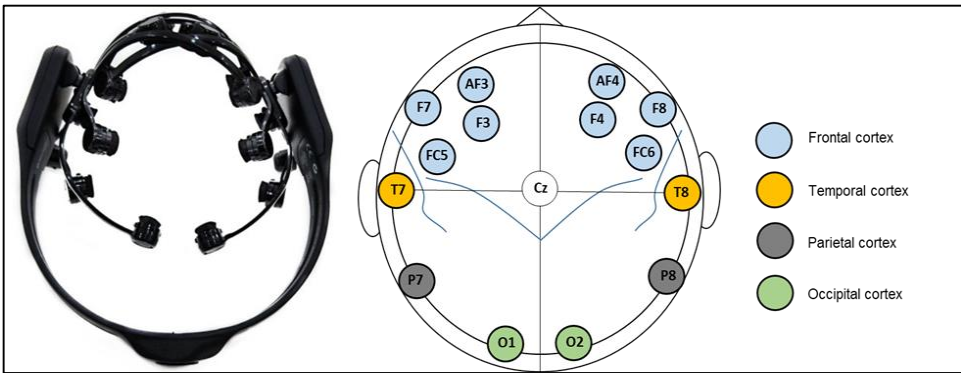


基于噪声烦恼度评价的盾构机驾驶员岗前筛选

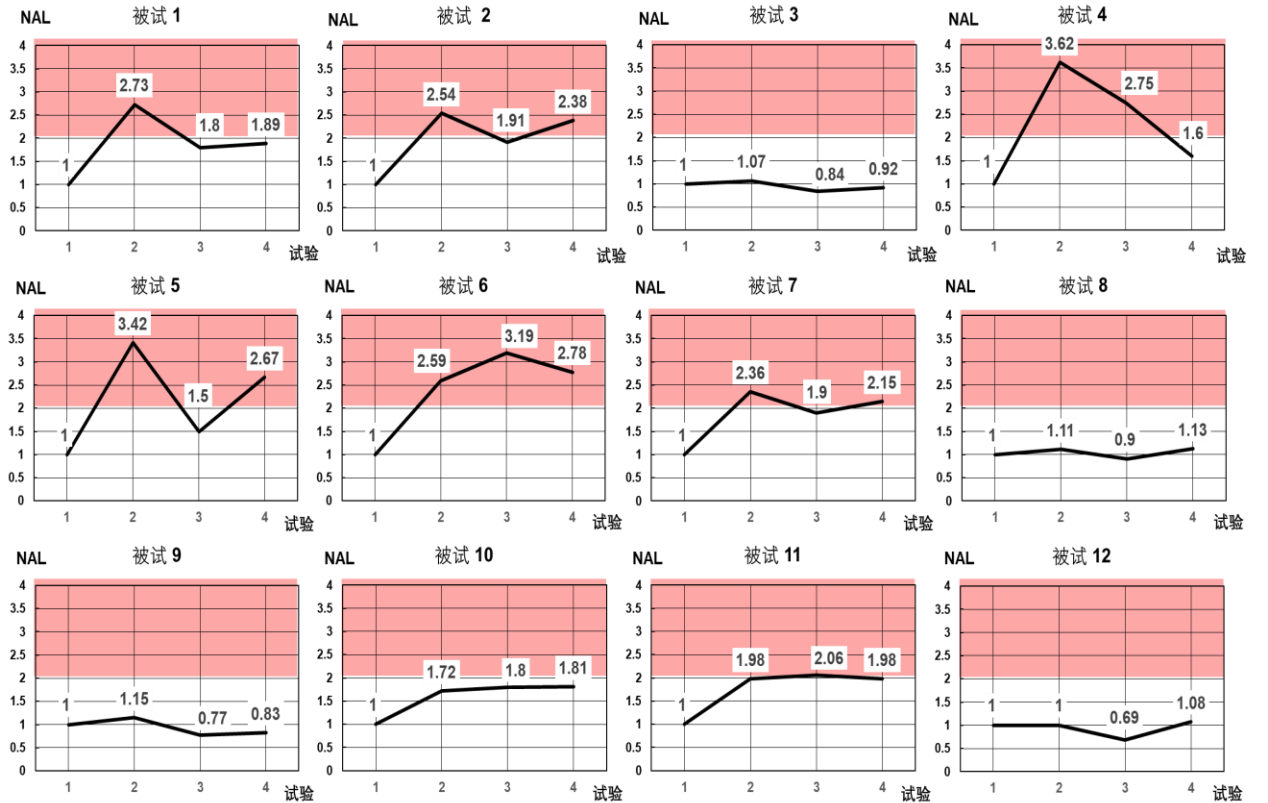
应用生理讯号采集及分析，评估盾构机驾驶员的噪声烦恼度水平，及其应对噪声环境的自我调节能力，
识别不合格的工人个体，进而采取主动干预措施



动态生命体征监测系统生理仪



可穿戴EEG脑电信号采集设备



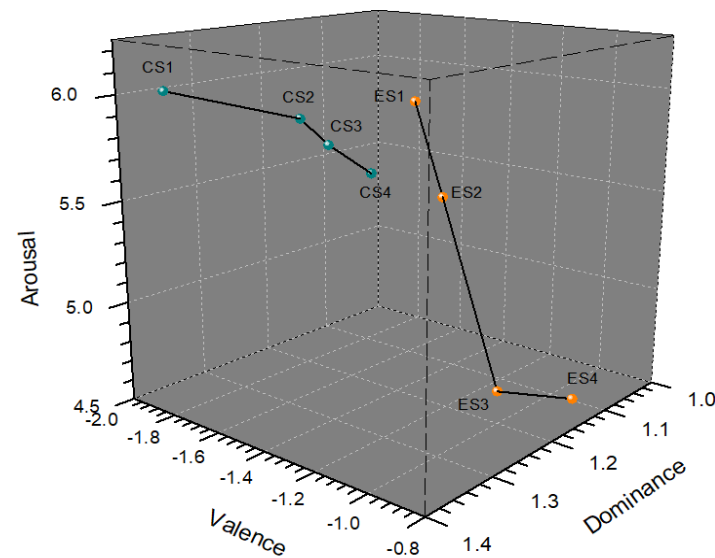
岗前筛选结果

个体噪声烦恼度评估结果及动态自我调节过程

高空作业者的情绪及精神疲劳的综合干预方法



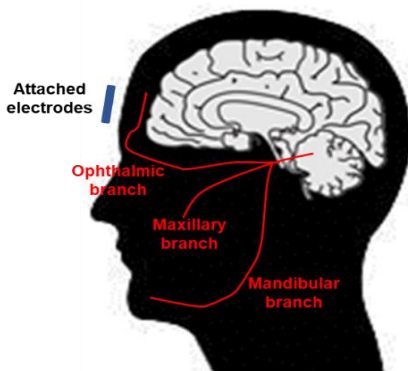
高空作业工人情绪状态诱导



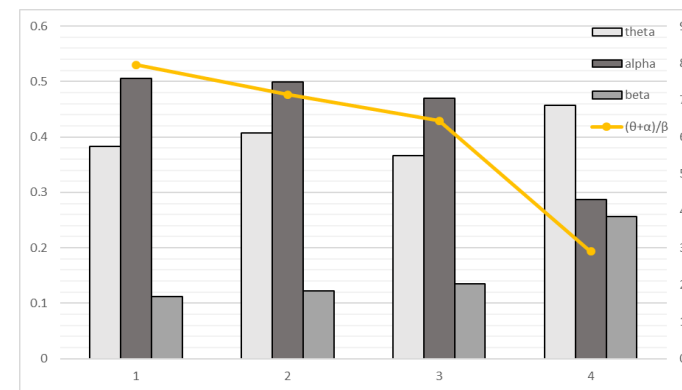
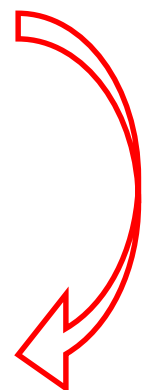
情绪三维模型



渐进性肌肉放松



三叉神经刺激术



精神疲劳趋势

实际应用

技术推广至地铁、桥梁、大型公建、管廊等重大工程

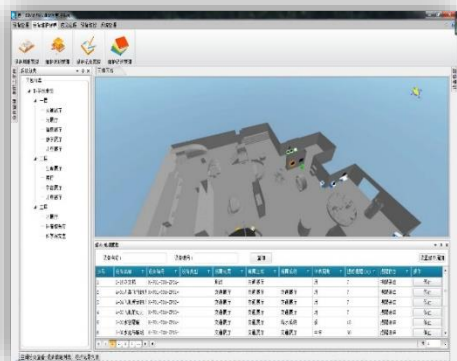
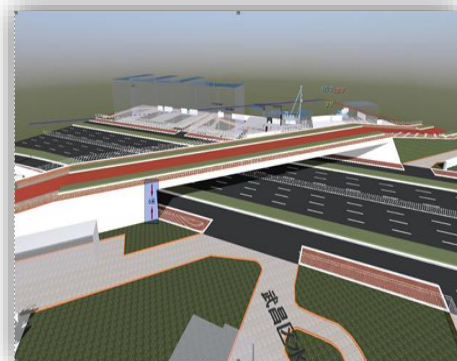
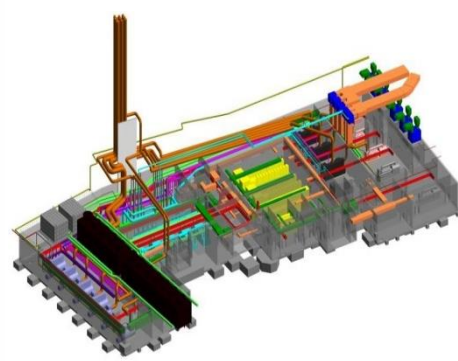
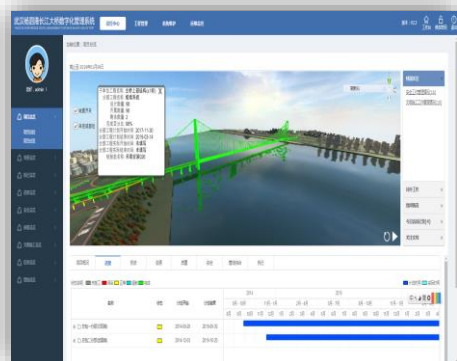
地铁工程： 武汉地铁200余个在建工地——**武汉轨道交通全线网**

桥梁工程： 世界最大单跨度双层公路悬索桥——**杨泗港长江大桥**

大型公共建筑： 中部最大、全国第三的展览场馆——**武汉国际博览中心**

地下综合管廊： 华中地区最大的城市综合管廊——**武九线综合管廊工程**

科技场馆设施： 中部最大、最先进的科技馆——**湖北省科技馆新馆**



实际应用

武汉地铁——工人不安全行为智能监控平台

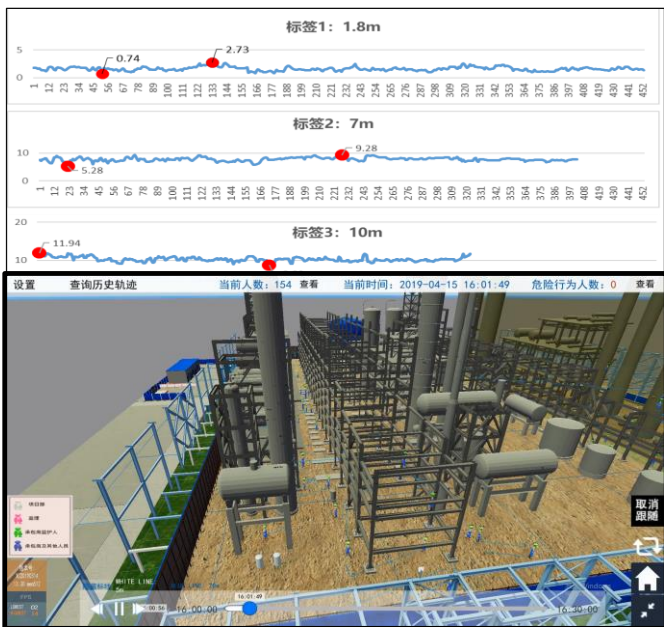


结合机器视觉技术，实现不安全行为智能识别控制

实际应用

中韩（武汉）石化——80万吨/年乙烯项目

揭示了石化施工现场危险操作行为动力学机制，发现动土、动火作业等20余种危险性操作的幂律规律，2018年1月-2019年6月，共进行90794人次进场识别，**捕捉并校正未授权进场识别不规范行为32198人次**，识别准确率稳定在90%；针对特种作业行为，累计设置电子围栏14次，**有效制止242人次进入危险区域**

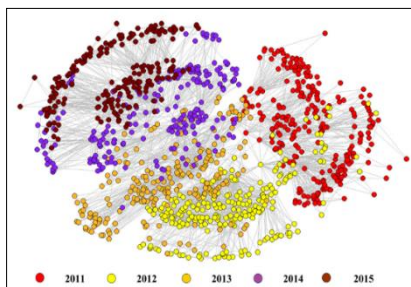
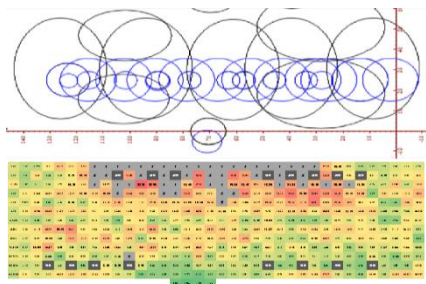
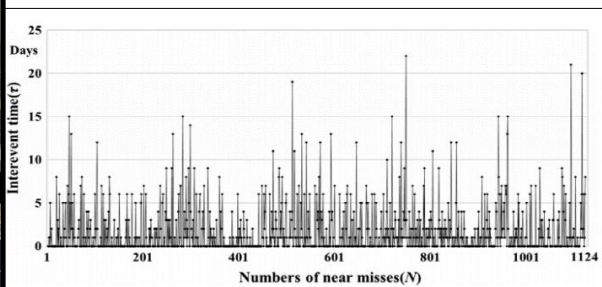


石化工地现场不安全行为与施工未遂事件分析

$$p(\tau) \propto \tau^{-\lambda}, \quad \log(p(\tau)) = -\lambda \cdot \log(\tau)$$

$$P(\tau < X) = \int_{\tau}^{\infty} p(\tau') d\tau' = \left(\frac{\tau}{\tau_{\min}}\right)^{-\lambda+1}$$

$$M = \frac{1}{n_{\tau} - 1} \sum_{i=1}^{n_{\tau}-1} \frac{(\tau_i - m_1)(\tau_{i+1} - m_2)}{\sigma_1 \sigma_2}$$



石化施工电子作业票与智能施工许可系统

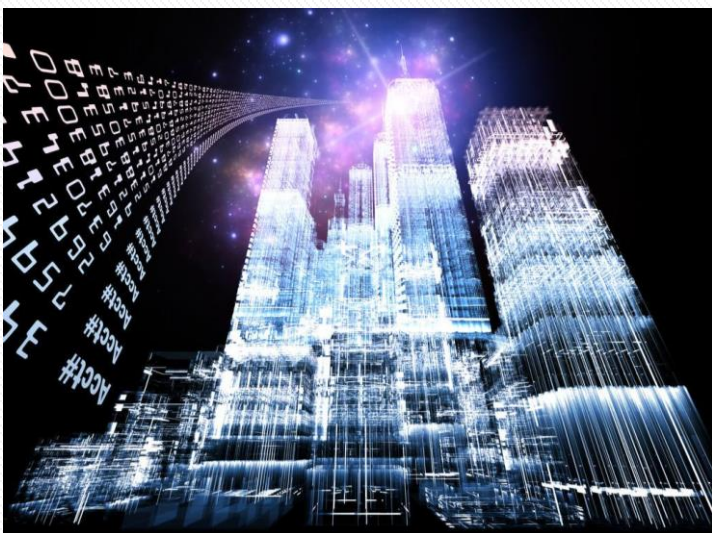
智能工地—待进一步解决的科学问题

5G环境下工程要素数据全面智能感知：构建施工现场全要素数据感知整体理论基础，攻克5G环境下工程要素数据全面智能感知技术，建立不同工程要素的多源数据增强融合模型，减少信息碎片化和数据冗余度

基于深度学习与机器视觉的安全风险监测：提出施工场景关键对象识别方法、定位方法以及空间范围划分标准，通过规则语义拆解将复杂的不安全行为判定规则转化为机器视觉的多个子程序任务，实现动态场景下的不安全行为智能监测

基于多传感器的监测大数据融合推断与智能控制：研究质量安全风险事件中“人-机-环”共同作用机理，基于加速鲁棒性特征进行多维监测数据的去噪与特征匹配，利用事件引擎将融合推断结果转化为管理决策并智能推送





研究与实践

3. 无人施工系统

施工机器人

国家“十三五”重点研发计划课题：面向典型建筑施工与构件加工的机器人应用示范（2018YFB1306905）

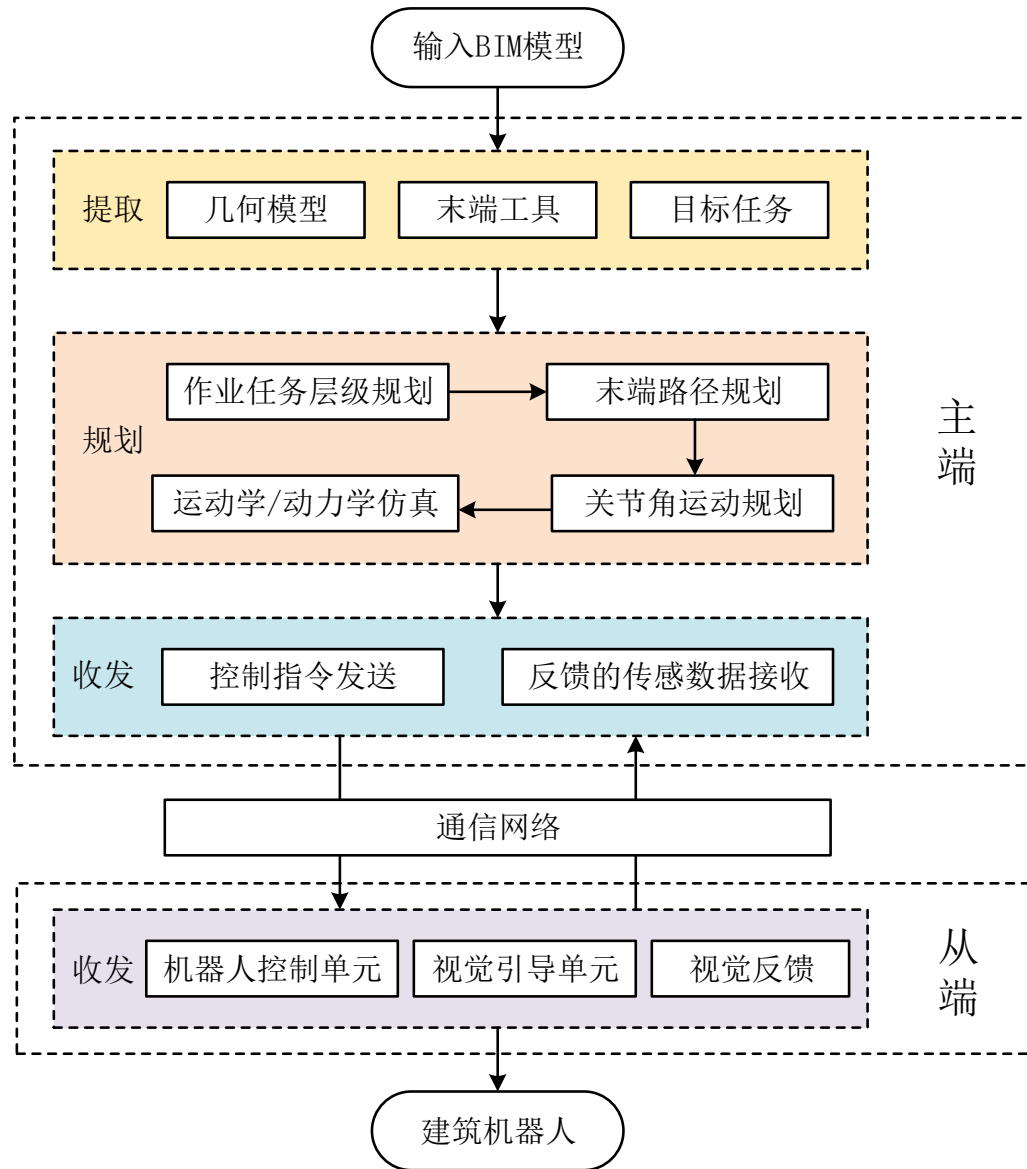
面向基于机器人装备的建筑行业设计-施工无缝集成应用，建立建筑信息模型驱动的机器人虚拟作业控制方法

子任务一：**建筑信息模型驱动的机器人虚拟作业接口技术**。基于典型应用场景 BIM 的机器人虚拟作业运动路径规划技术和基于 BIM/ADAMS 的机器人虚拟作业运动学/动力学仿真技术；

子任务二：**基于增强现实的机器人混凝土打印辅助技术**。研究 AR 虚拟模型和打印实体间的几何叠加误差比对方法及其在辅助提升 3D 混凝土打印成型质量方面的应用；

子任务三：**开展建筑行业典型应用的机器人工程示范**。验证课题一至课题四研发的建筑行业机器人共性技术和关键技术，实现包括板材安装、木结构加工和大尺度建筑结构打印等三类建筑行业典型应用的机器人工程示范。

施工机器人 子任务一：BIM驱动的虚拟作业技术



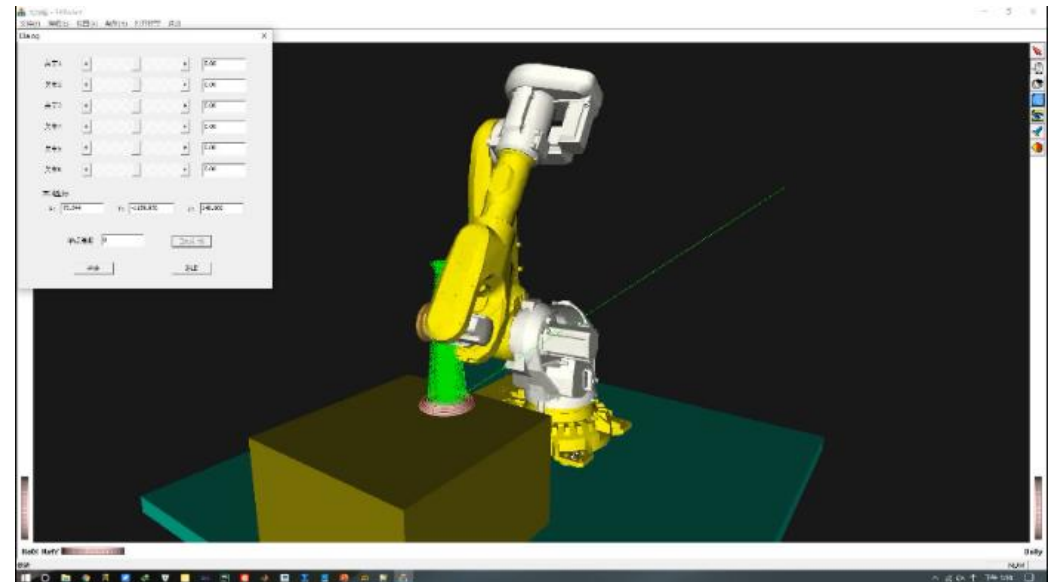
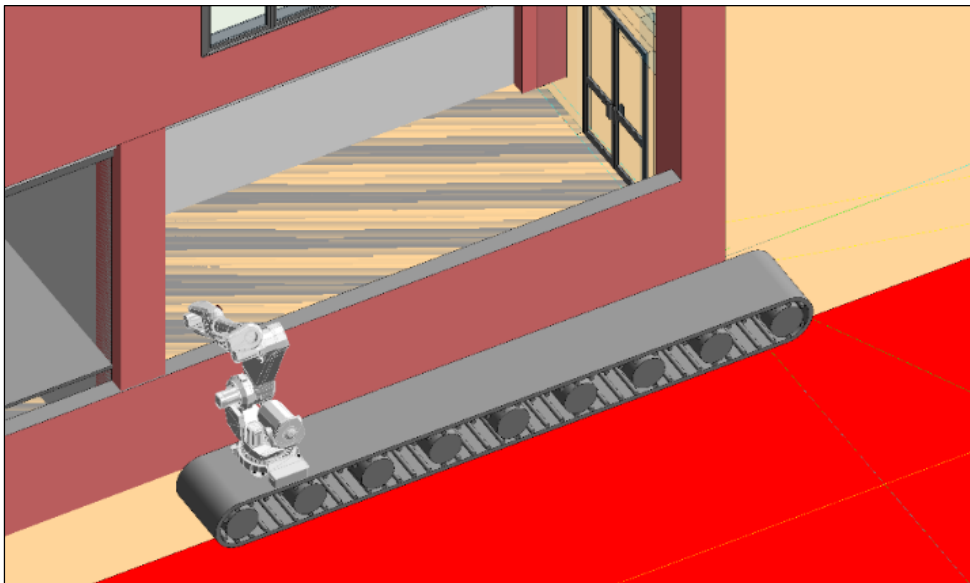
构建设计施工一体化无缝集成平台：从BIM设计信息开始，直至建筑机器人作业指令生成、收发及修正，实现自主开发程序和商业程序的整合。

- 1) BIM模型有效施工信息的解析与提取方法
- 2) 基于BIM的建筑机器人虚拟作业运动路径规划
- 3) 基于BIM/ADAMS的机器人虚拟作业运动学/动力学仿真

施工机器人 子任务一：BIM驱动的虚拟作业技术

1. BIM有效施工信息的解析与提取方法

基于Express语言对BIM模型IFC数据进行解析并提取出施工对象、施工工具、施工过程和施工环境等施工信息，生成动态约束空间下的机器人优化施工组织、工法工艺及末端轨迹，构建4D BIM模型。

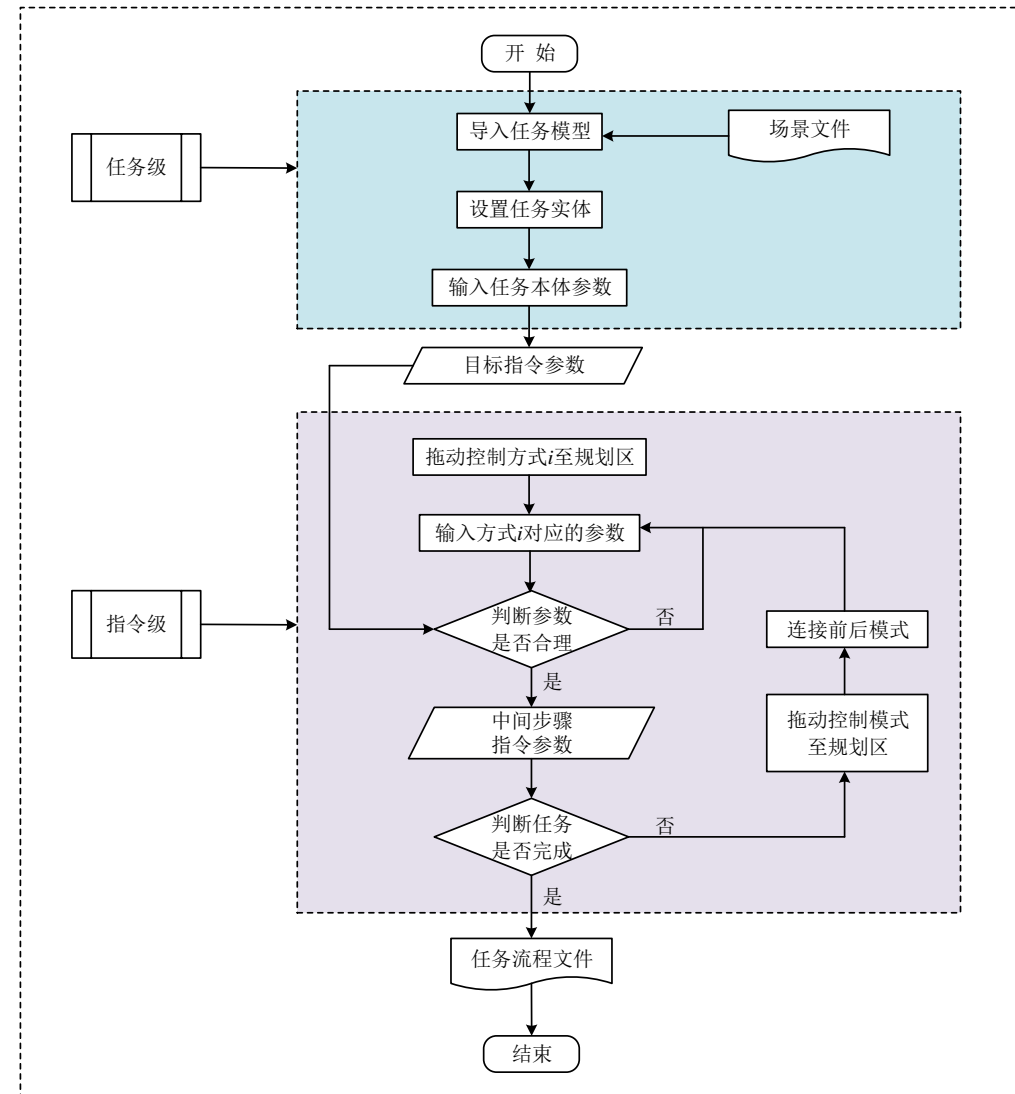


施工机器人 子任务一：BIM驱动的虚拟作业技术

2. 基于BIM的建筑机器人虚拟作业运动路径规划

将建筑机器人的作业任务分为作业、动作和动素三个层级并进行结构化 and 可视化表达，构建具体施工应用任务级的规划方法。

在不同机器人施工应用的约束作业空间内，基于机构内部运动逻辑完成动素（运动时间、转角半径等）的组合和动作的生成，实现动态环境约束下的机器人末端运动路径规划。



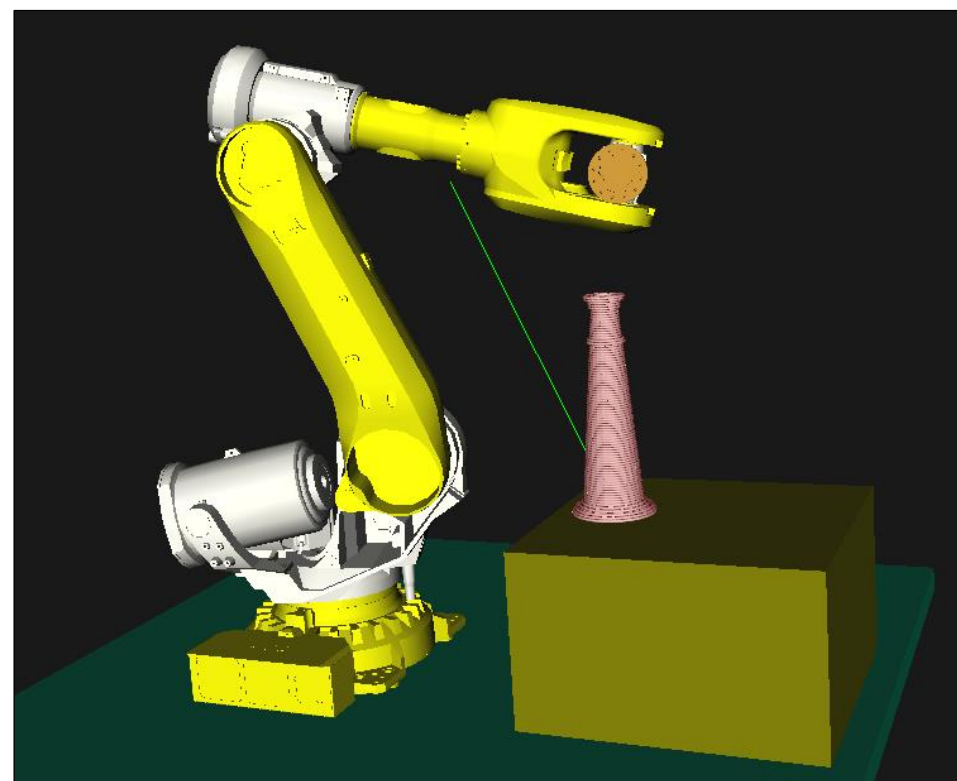
施工机器人 子任务一：BIM驱动的虚拟作业技术

3. 基于BIM&ADAMS的机器人虚拟作业仿真平台

基于任务规划结果和三维仿真环境，完成建筑机器人运动学仿真；

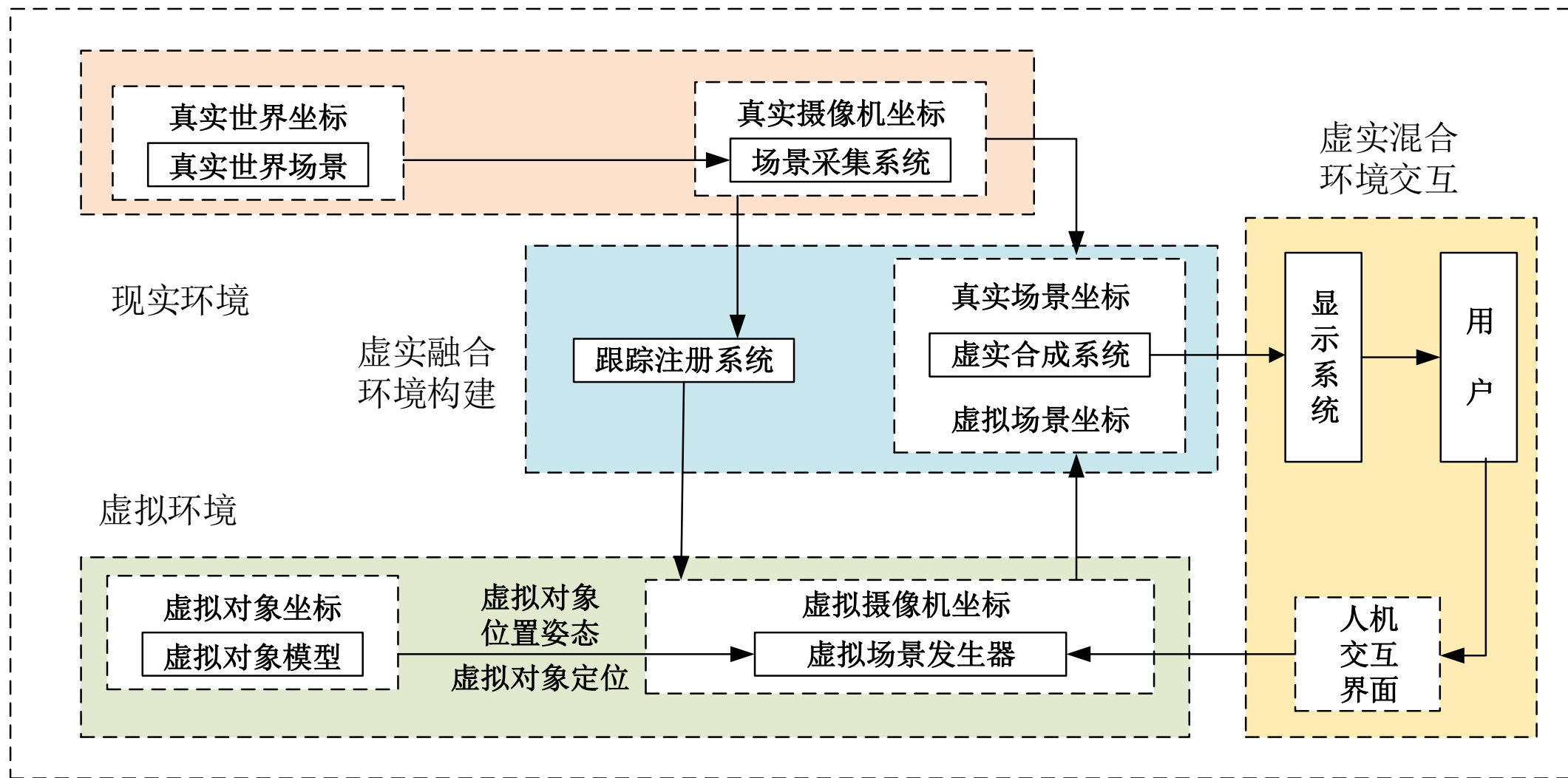
研究ADAMS集成方法，开展机器人作业动力学仿真，为机器人轨迹优化提供依据；

根据作业规划结果和机器人编程语言，生成机器人控制指令，建立遥操作平台，完成机器人作业的实时驱动。



施工机器人 子任务二：基于增强现实的机器人混凝土打印辅助技术

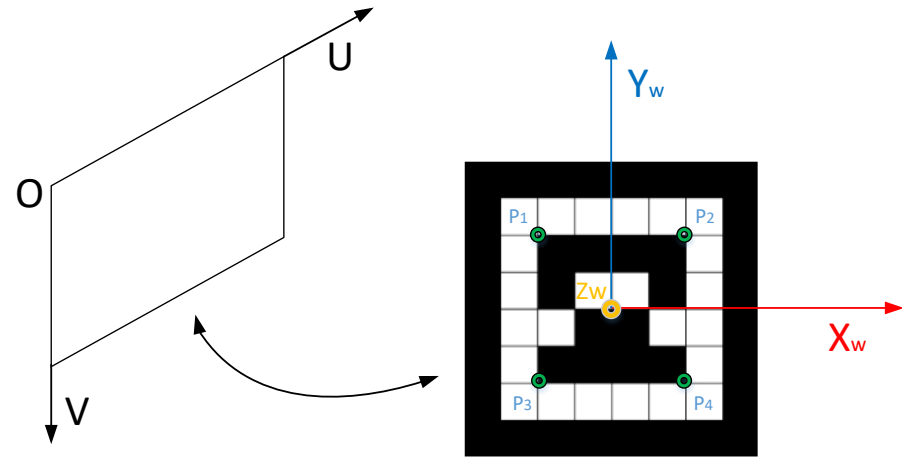
主要解决真实场景信息获取、虚拟场景生成、虚实注册和增强显示等关键技术点



施工机器人 子任务二：基于增强现实的机器人混凝土打印辅助技术

1. 基于标志物或自然特征的摄像机姿态估计

在基于视频的增强现实中精确地估算摄像机的位置和朝向，准确跟踪目标，利用识别出的一组特征点的三维世界坐标及其对应点图像二维坐标，经过数学变换和计算确定摄像机内外参数。



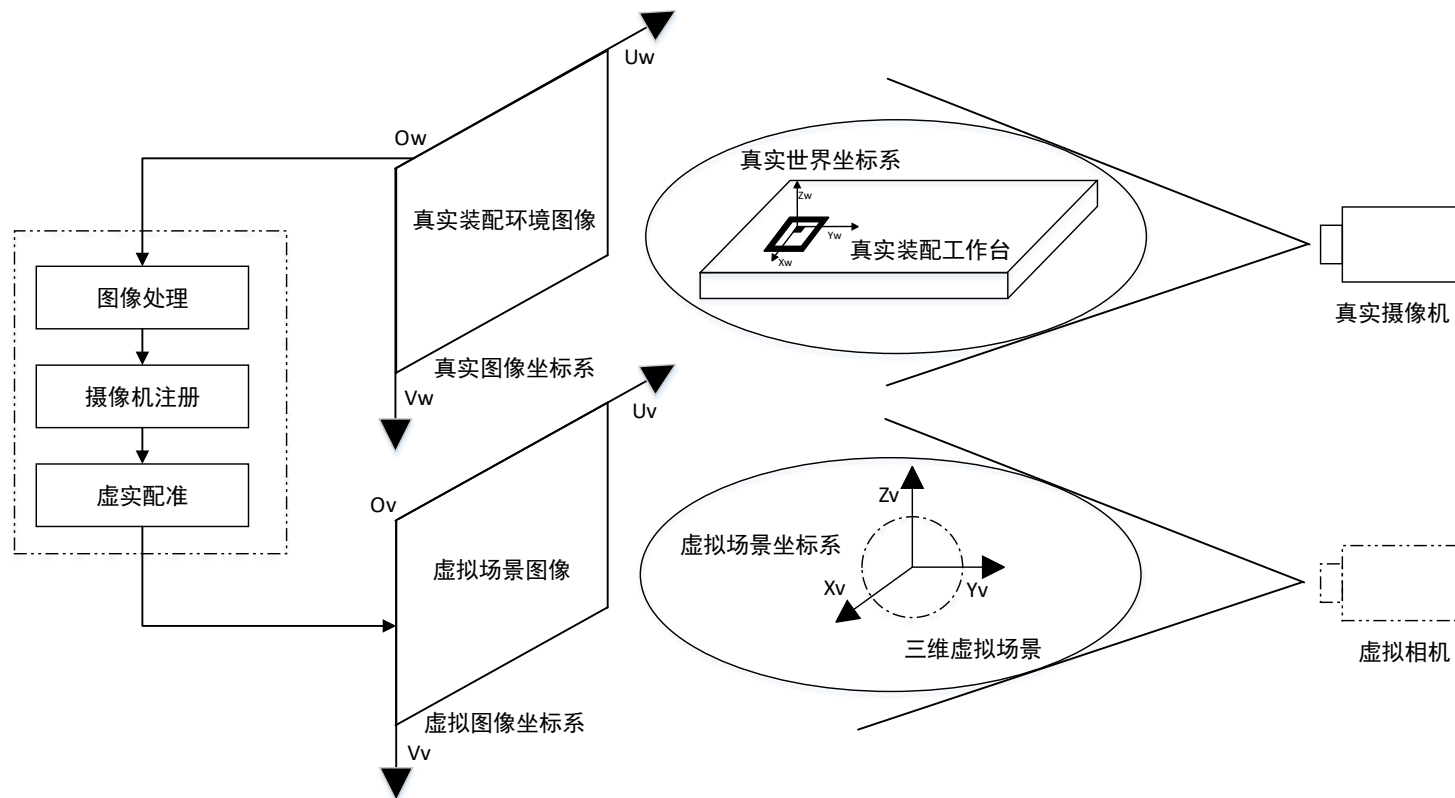
$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\lambda = \frac{1}{s} \quad r_1 = \frac{1}{\lambda} A^{-1} h_2 = \frac{1}{\lambda} A^{-1} h_2$$
$$r_3 = r_1 \times r_2 \quad t = \lambda^{-1} A^{-1} h_3$$

施工机器人 子任务二：基于增强现实的机器人混凝土打印辅助技术

2. 增强现实三维模型的虚实注册

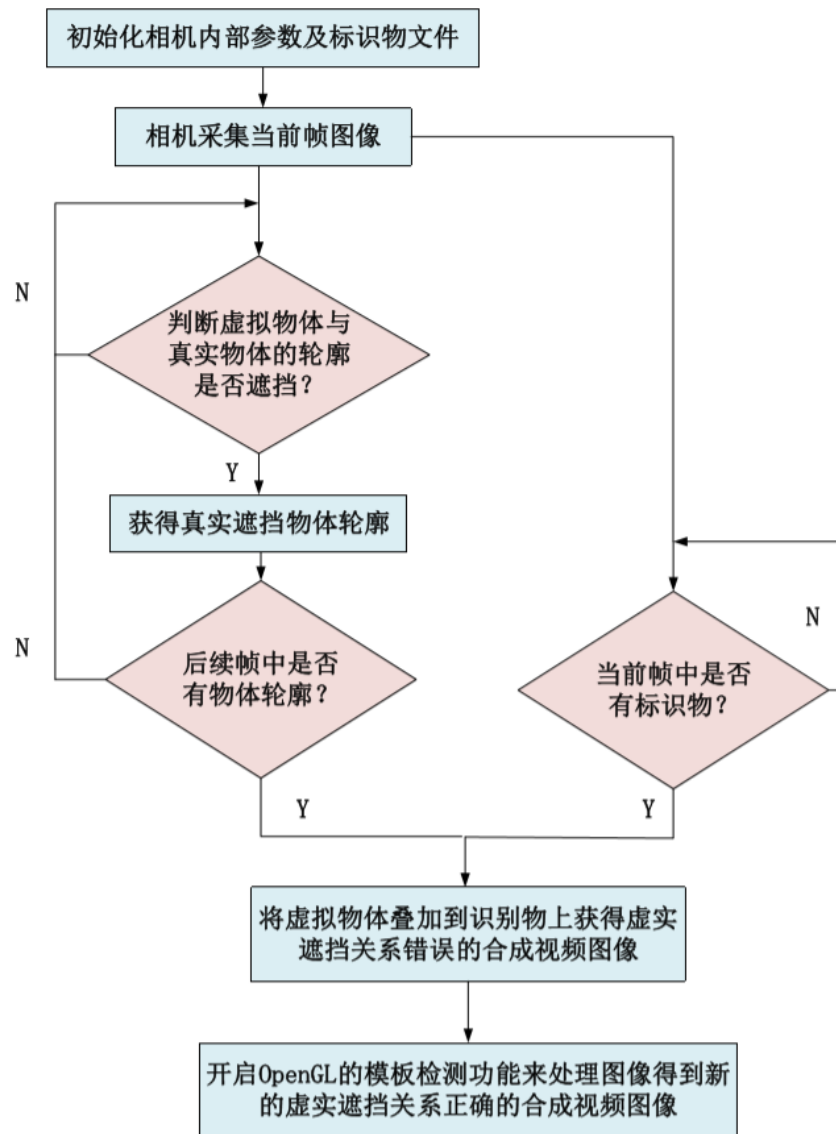
基于真实摄像机和虚拟摄像机的坐标系匹配，实现真实场景图像与虚拟场景图像的融合，完成虚实注册。



施工机器人 子任务二：基于增强现实的机器人混凝土打印辅助技术

3. 增强现实中虚实遮挡处理

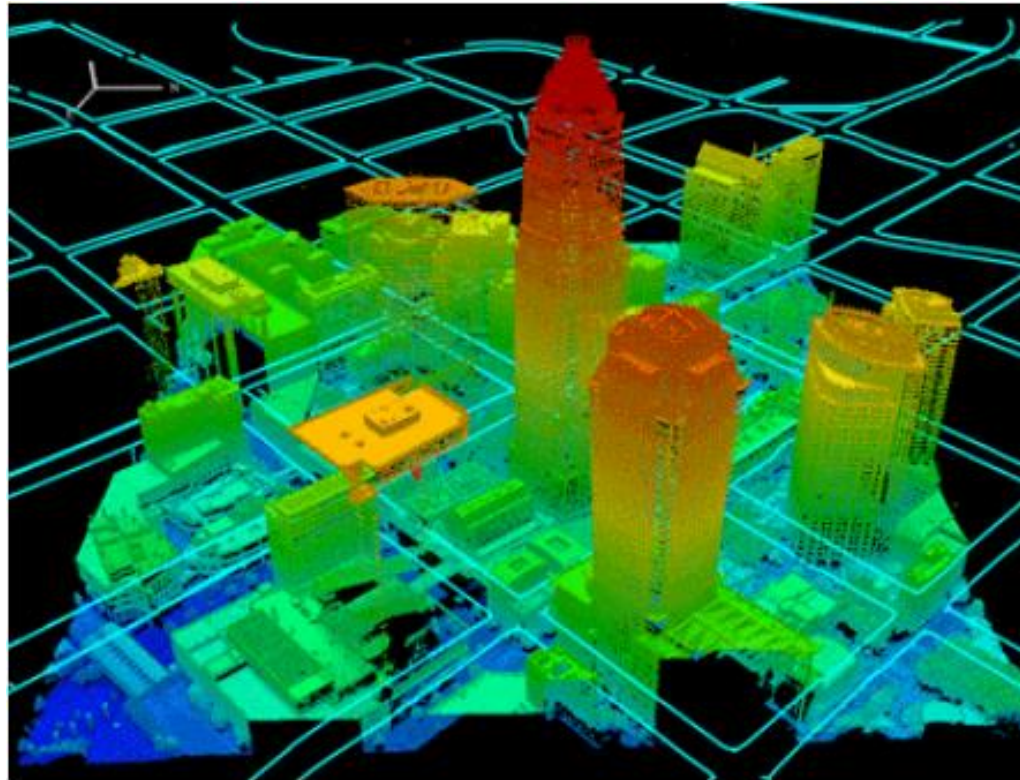
通过数学和图像处理技术，正确处理虚实场景的相互遮挡关系，强化虚拟物体在现实场景中的真实感，得到逼真的虚实融合效果。



施工机器人 子任务二：基于增强现实的机器人混凝土打印辅助技术

4. 混凝土打印几何误差评价及工艺参数在线修正

基于产品几何规范技术，建立混凝土打印成型质量的评估方法；基于增强现实技术，实时评价打印几何误差，根据误差检测结果，实现打印工艺参数的在线修正。



施工机器人 子任务三：建筑行业典型应用的机器人工程示范

工程示范：板材安装机器人示范

利用课题2研制的板材安装双臂作业机器人，完成多个建筑施工工程中的幕墙、建筑立面及门窗的安装，实现多个不同案例中不同工艺的示范应用。



板材安装机器人实际操作作业



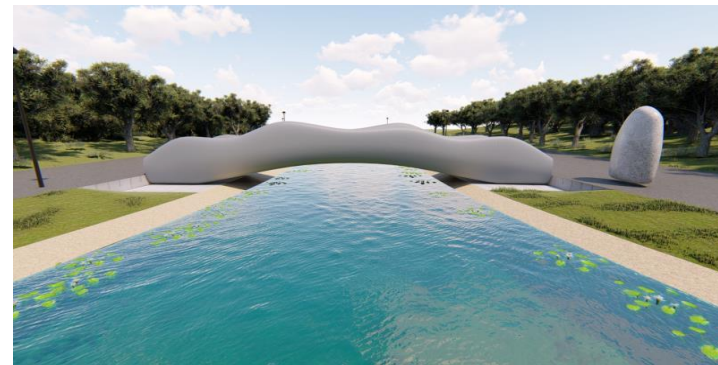
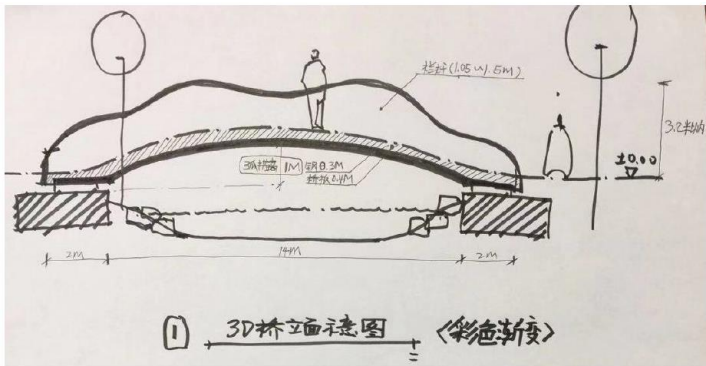
板材安装机器人样机展示

施工机器人 子任务三：建筑行业典型应用的机器人工程示范

1、完成上海普陀区桃浦智创城中央绿地公园景观桥方案设计。**设计尺寸**：长15米、宽3.86米、高1.2米；**采用的打印工艺**：一次打印成型工艺

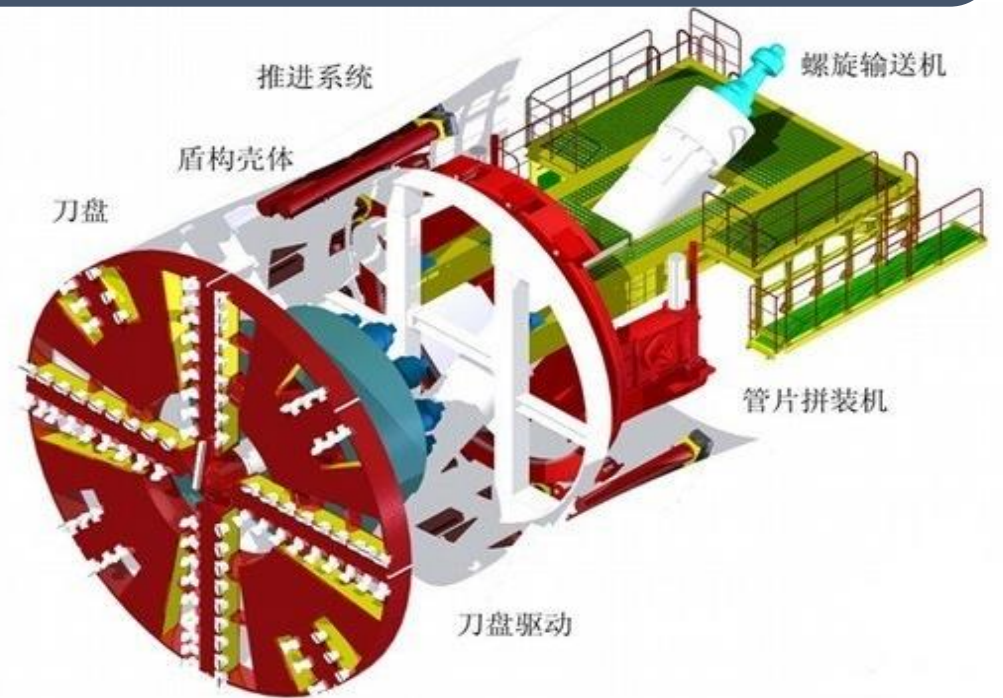


2、完成福建泉州百崎湖生态连绵带景观桥方案设计。**设计尺寸**：长17.5米、宽4米、高3.2米；**采用的打印工艺**：分段打印+预制拼装工艺



无人盾构系统

“无人盾构系统”指，能全面感知周边环境，通过盾构“大脑”决策完成刀盘智能维护、掘进智能控制、管片智能拼装等主要工序，依托工程多尺度全数字化模型，通过地下作业面少人或无人的形式，地面或远程人机协同控制的方式，实现开挖进尺、完成结构装配的智能化盾构系统。

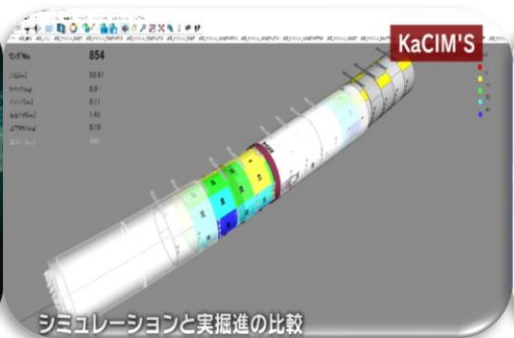
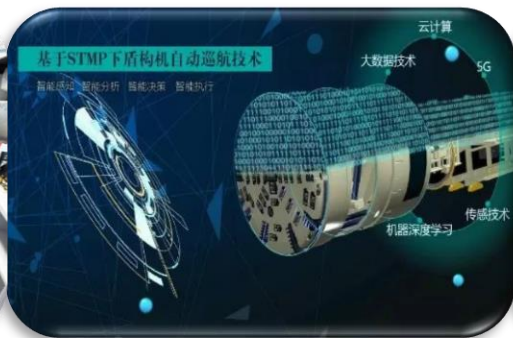


“无人盾构系统”研发的关键阶段是，实现从3级部分自动化 → 4级高度自动化的提升

与传统盾构相比，“无人盾构系统”应具有更敏感的环境感知、更智能的中央决策以及更强大的底层控制能力

无人盾构系统

控制技术
智能化



总体目标

有人

人工控制盾构

远程巡航盾构

自动作业盾构

智能作业盾构

无人

现场化管控

数字化管控

自动化管控

智能化管控

管控模式
智能化



通过控制智能化的**关键技术研发**，引领管控智能化的**管理模式创新**，实现盾构人工控制作业**向无人化跃升**

无人盾构系统

2.1 环境智能感知

- 地层异质体超前探测技术
- 三维地质空间小样本重构技术
- 隧道地表沉降预测与观测技术

2.2 掘进智能控制

- 施工失稳灾变描述技术
- 多目标智能决策技术
- 盾构机操作人工智能知识库技术

2.3 刀盘智能维护

- 刀盘刀具磨损机理研究
- 刀具服役状态检测技术
- 换刀决策方案研究
- 刀盘刀具智能维护系统

2.4 管片智能拼装

- 轴线校核与管片智能排布技术
- 同步推拼技术
- 智能拼装技术
- 管片拼装质量检测技术

环境感知、掘进控制、刀盘维护、管片拼装4大关键技术，共同构成“无人盾构系统”关键技术体系的核心

技术体系产品化架构

软件
平台层

无人盾构施工智能决策支持平台

(可模块化外接, 支持常规盾构)

支撑
算法层

- 1、盾构隧道**结构设计**算法;
- 2、隧道**数字孪生**算法;
- 3、盾构智能**稳定控制**算法;
- 4、**核心部件维护**算法;
- 5、管片拼装**质量检测**算法;
- 6、管片**智能排布**算法;

硬件
装备层

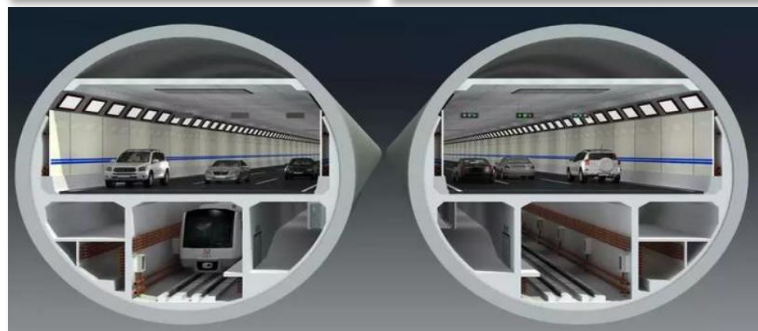
- 1、**联合研发**远控自适应巡航盾构机 (上海隧道+华科)
- 2、**集成研发**地层超前探测装置 (华科+空天院)
- 3、**自主研发**刀具磨损快速建模评估装置 (华科)
- 4、**集成研发**管片拼装质量检测装置 (华科)

知识
产权
成果

- 发明专利: 申报17项, 已授权9项
- 软件著作权: 已授权4项
- 高水平论文: 发表SCI检索10余篇

无人盾构系统 工程应用

✓ 武汉地铁7号线越江隧道工程



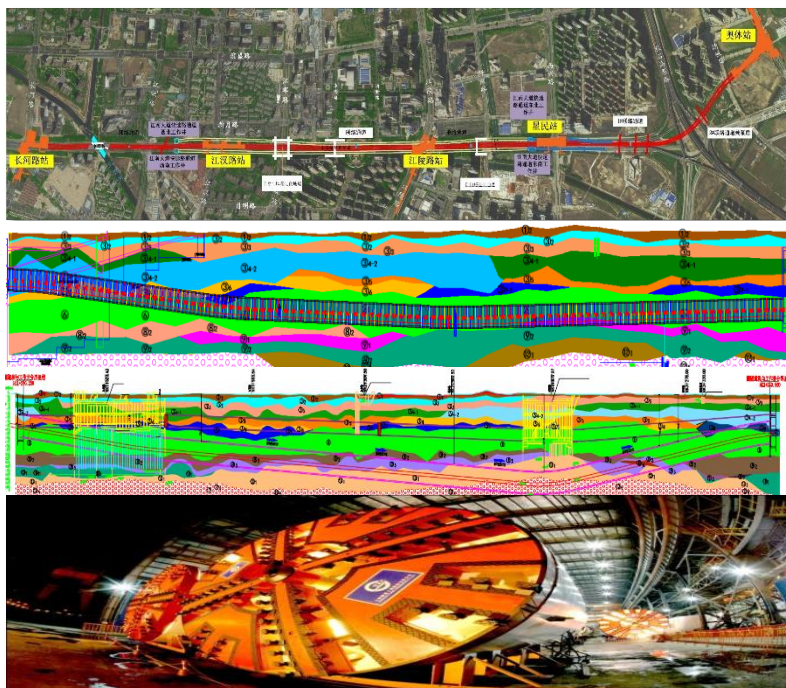
“武汉长江公铁隧道”

1. 体量：长 2590m，深 50m
2. 结构形式：双孔双层
3. 刀盘直径：15.76m

在建期间，直径世界第三，内地第一！

应用了数字化管控、刀盘维护、拼装检测技术支持工程**2018年已建成通车！**

✓ 杭州江南大道改造提升工程

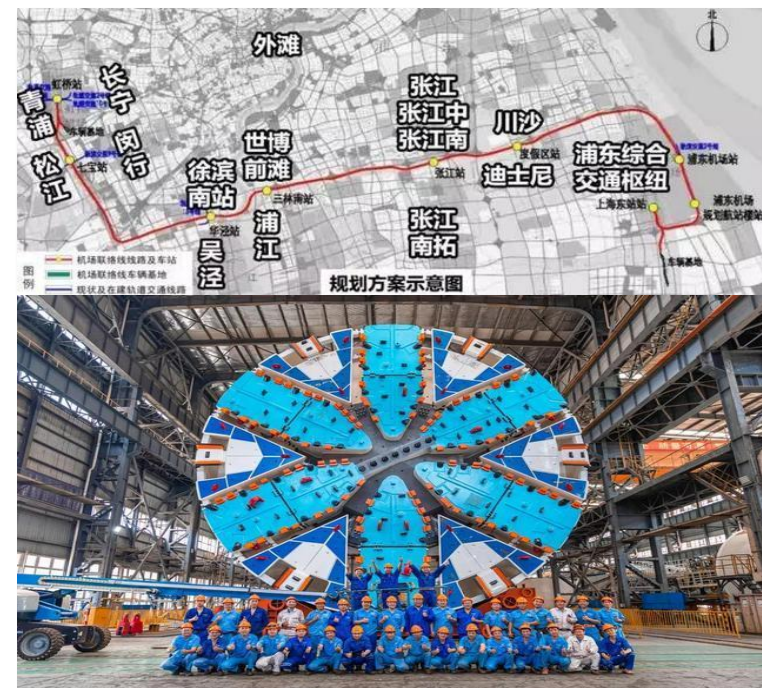


杭州江南大道改造提升工程

大小盾构，4线并行，合计近9000环
盾构并行掘进里程长，周边环境复杂！

正在应用智能感知、刀盘维护、质量检测技术
试点应用工程在建，**2021年通车！**

✓ 上海市域铁路机场联络线工程



上海机场联络线盾构工程

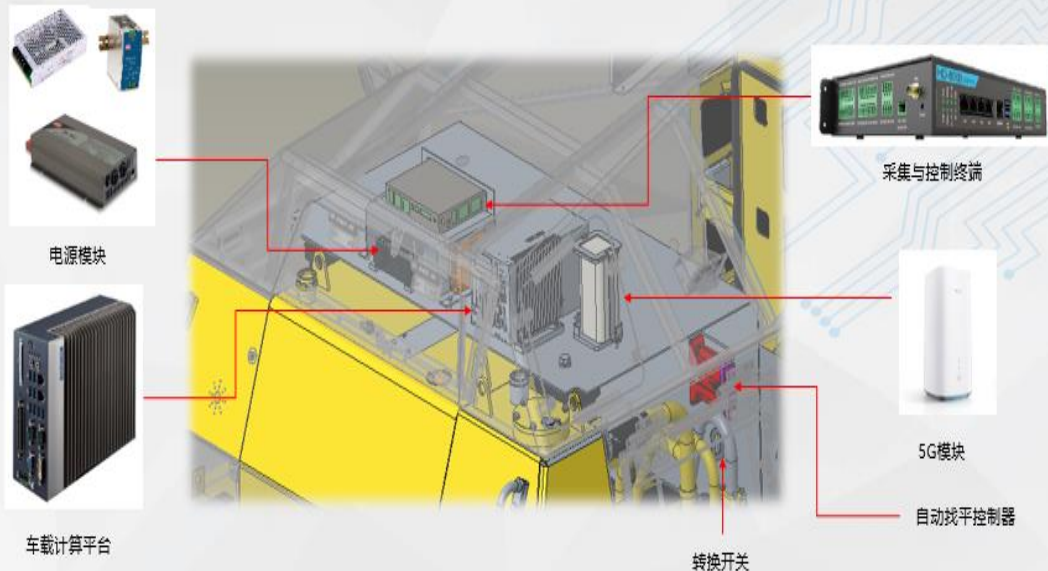
超大直径(14.05米)，超长距离(68公里)
超大直径盾构超长距离掘进

即将应用自适应巡航、刀盘维护、质量检测技术
试点应用即将开始，**2024年通车！**

“无人盾构系统”部分关键技术已应用或即将应用于武汉、杭州、上海等地重点工程项目！

研究成果

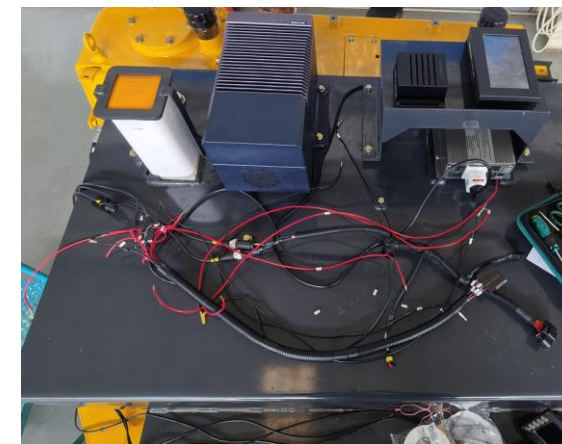
5G模块、控制终端与计算平台等控制元件均为关键电器元件，放于设备舱内减震平台上，以达到防尘防水减震的目的。



无人推土机三维模型



无人推土机行走展示



无人推土机真机

下一步研究计划——压路机

基于光电传感的土方工程机械碾压作业质量（连续）智能检测方法，实现压实质量的快速无损检测，减少施工现场人工检测用时50%。

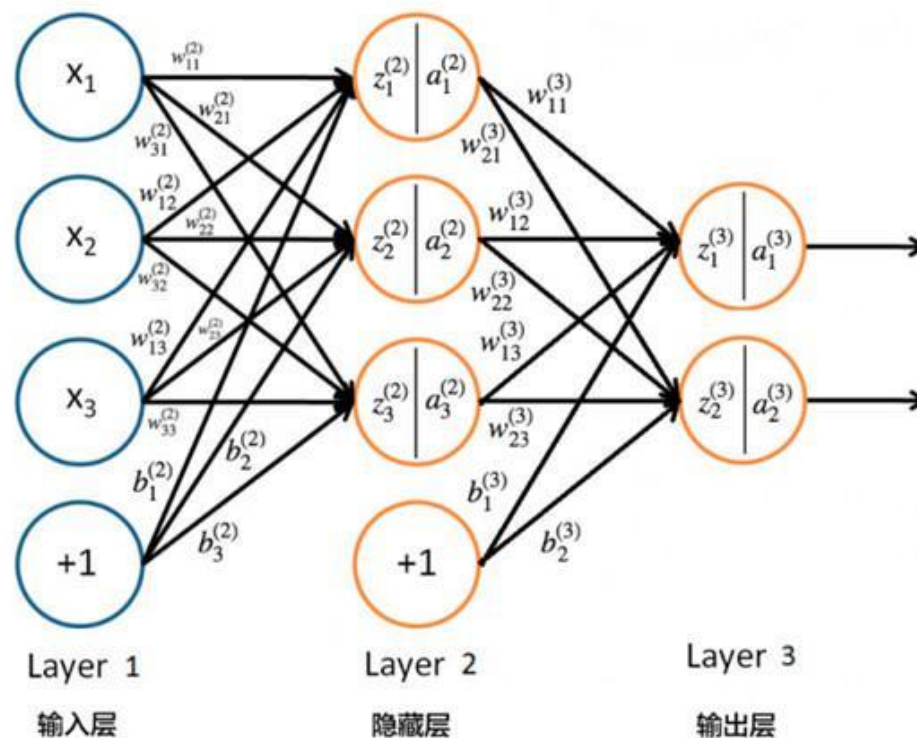


无人施工系统—待进一步解决的科学问题

- 复杂、多变、恶劣施工环境下高稳定、低时延通信问题



- 复杂建造过程抽象数学模型的建立问题



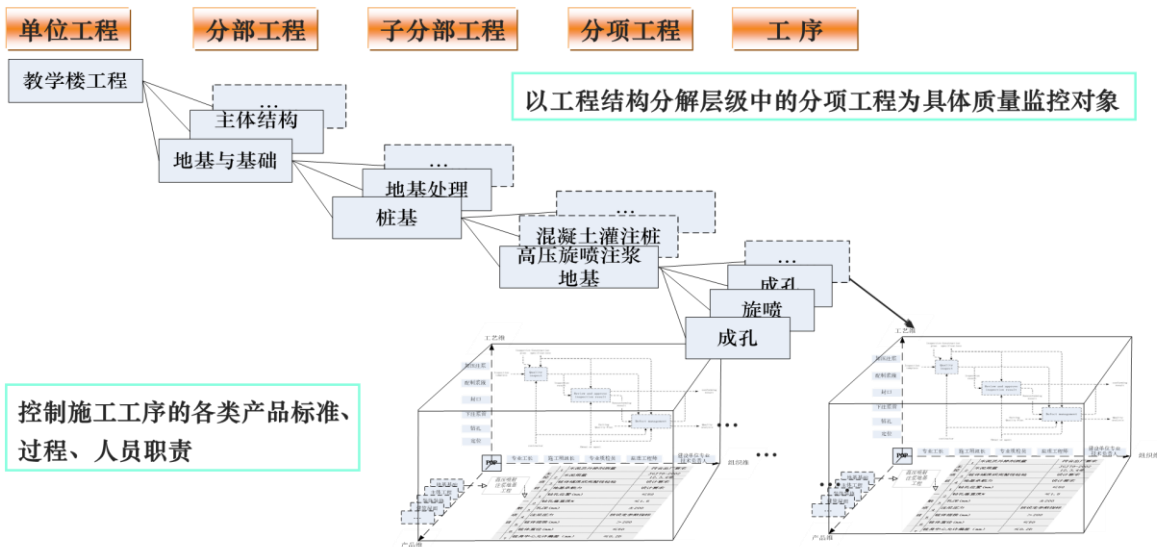
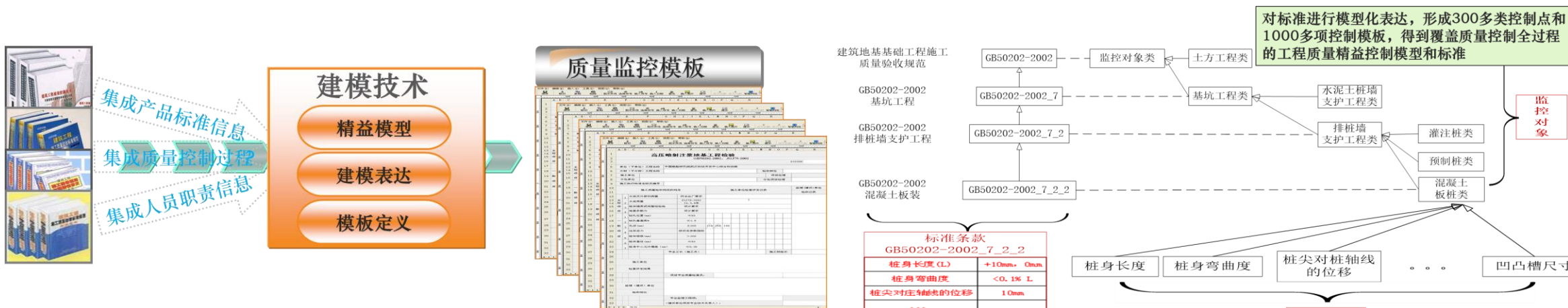


研究与实践

4. 智能质量管理研究与应用

基于任务包的工程质量精益控制

构建了工程质量精益控制模型，实现了标准条款的模型化表达，形成了整套监控模板



精益控制POP模型

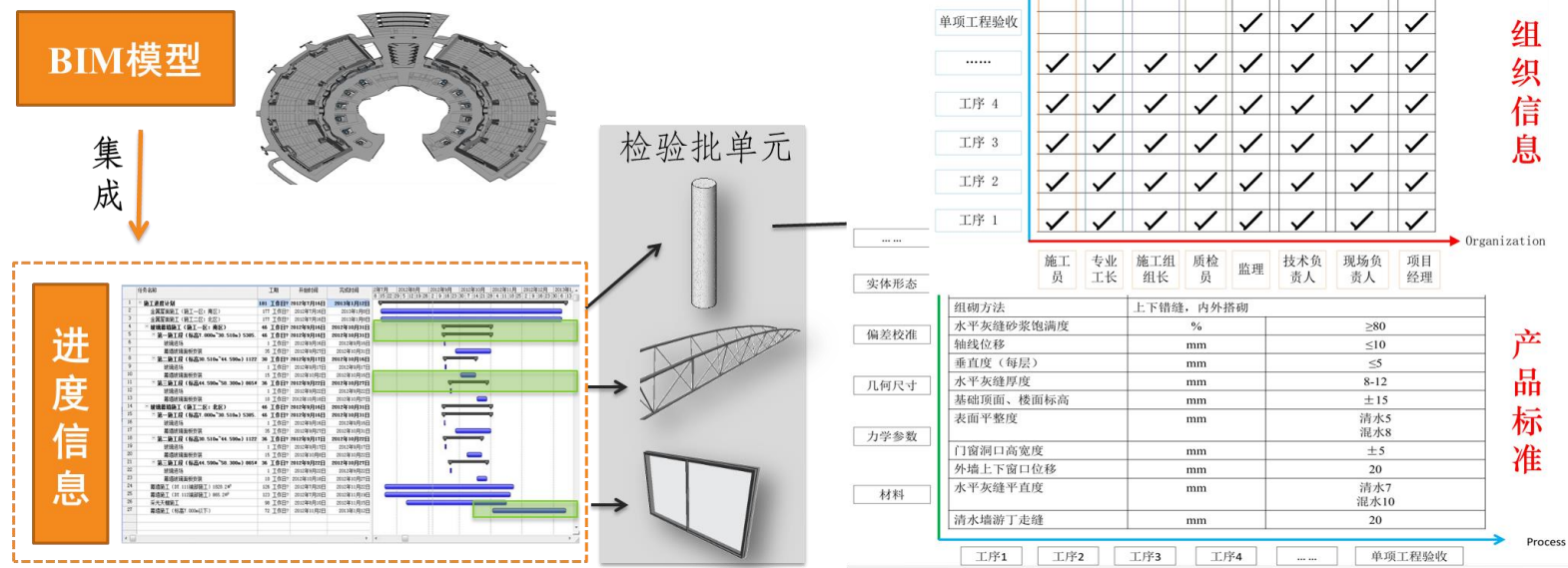


质量监控模板

引自: 陈丽娟. 基于BIM的工程施工质量管理研究[D]. 湖北:华中科技大学,2015.

基于BIM的质量管理

构建了基于BIM的信息交换和共享，可依据实体对象实现不同类型、不同专业、不同阶段的信息集成，进一步实现了施工过程的精益质量管理



5D质量模型



BIM环境下的质量管理流程

返工报告

1.基本信息

单位工程	武汉国博七号展厅	分部工程	高压喷射注浆地基工程
分项工程	混凝土灌注桩	验收部位	检验批3
承包商		分包商	
项目经理		监理工程师	
专业检查员		验收日期	

2.返工原因

检验批3中编号为14-02.10.15.03.03-07.03.006, 14-02.10.15.03.03-07.03.034的桩桩身允许偏差大于0.2D(100mm), 编号为14-02.10.15.03.03-07.03.056的桩桩体直径为555mm,超出允许偏差50mm, 14-02.10.15.03.03-07.03.077的桩桩体直径为435mm,超出允许偏差50mm, 违反了GB50202-2002《建筑地基基础工程施工质量验收规范》中的允许偏差, 故需要返工。

3.BIM模型

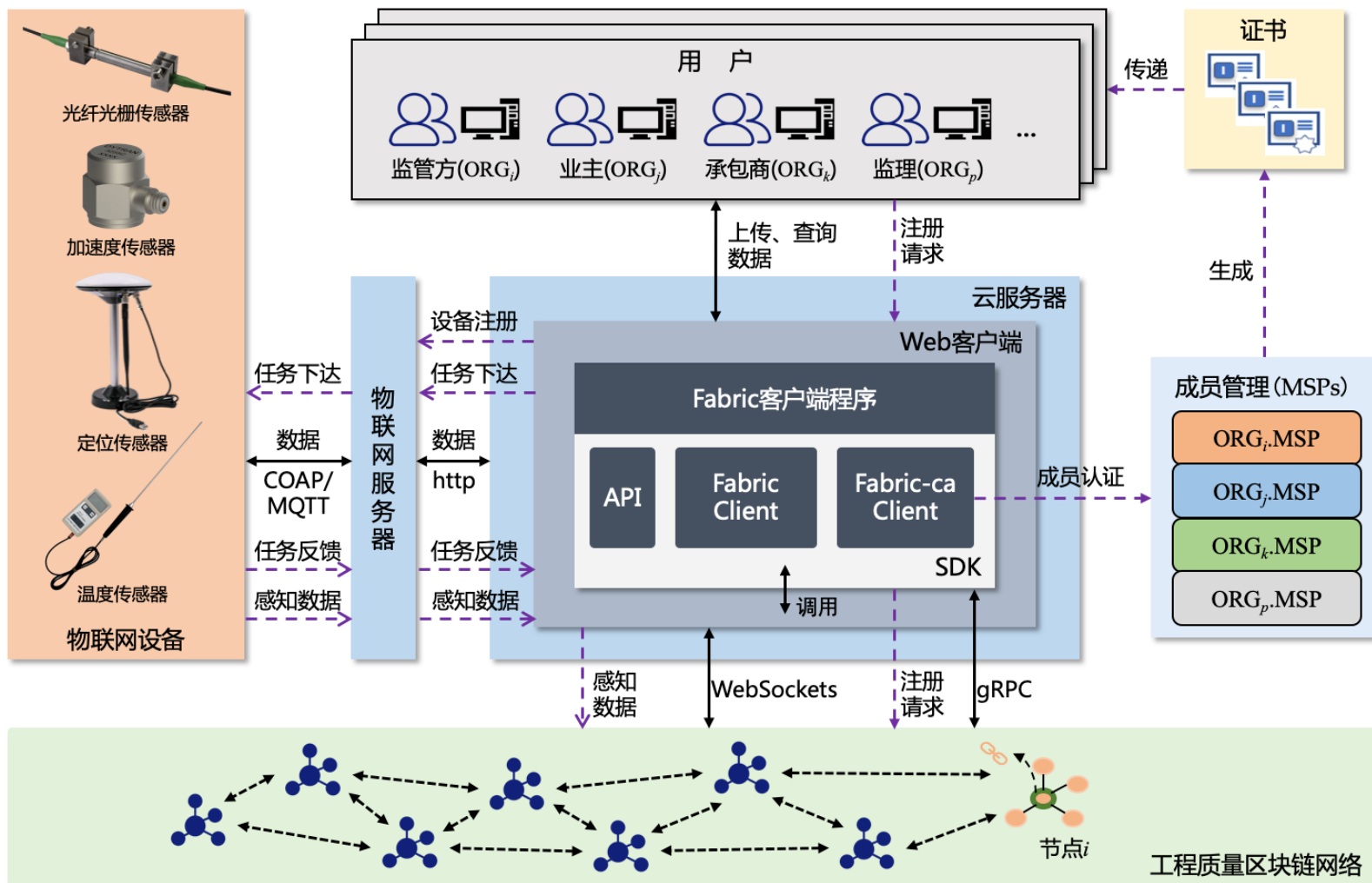
4.返工记录

开始时间		结束时间	
返工责任人		返工费用	
返工结果	<input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格		

基于BIM的返工

基于区块链的工程质量诚信管理

建立了基于区块链的建筑工程施工质量信息管理POP模型以及隐蔽工程质量追溯方法，减少质量主体不良行为



系统概念图

功能

- 工程质量信息的自动化采集与验证
- 工程质量信息的一致性记录与存储
- 工程质量信息的全过程回溯

特征

- 唯一性
- 不可篡改
- 权限可控
- 数据加密与隔离
- 自动化流程
- 信息可回溯

研究成果

➤ “建筑工程施工质量管理体系” 被列为湖北省建设厅建设科技成果推广项目

➤ 在中建三局、武汉建工等单位的实际项目中应用

湖北省建设厅办公室文件

鄂建办〔2004〕48号

关于加强全省建筑工程质量监督管理工作信息化工作的通知

各市、州、直管市、神农架林区建委（建设局）：

加快建设领域各项管理工作的信息化进程，是建设部和省厅近年来的工作重点之一，也是建设工程管理工作走向科学化、规范化的必经之路。为贯彻执行建设部有关要求，进一步提高工程质量监督管理效率，规范和加强施工现场质量监督，尽快扭转质量监督信息化建设相对迟缓的现状，现结合我省实际，提出如下要求。

一、统一思想认识，完善工作体系。各级建设行政主管部门及质量监督机构要正确认识信息化工作的重要性，积极引导和推动本地区工程质量管理的信息化工作。要从有利于规范管理、有利于发挥效力的角度出发，结合本地区工程管理实际，建立和完

善由分管领导牵头、工程质量主管部门组织、有关机构实施的工作体系，保障质量管理信息化工作的尽快铺开和规范运转。

二、明确工作内容，避免资源浪费。为便于全省工程质量信息的管理和共享，各地的信息化工作应将重点放在硬件系统的建立和有效运行，以及信息的及时收集、统计、运用、分析等方面。涉及全省业已规范统一的工程质量监督、施工质量管理等工作的管理软件，省厅已做统一安排，各地不宜重复开发。

三、采取有力措施，推广先进软件。各地应按建设部有关要求，尽快应用建设工程质量监督信息网上快报系统，进而拓展建设工程管理信息库。各地、各企业要从规范工程质量管理、提高工程资料管理的需要出发，推广应用已经列入湖北省建设科技推广计划的《湖北省建筑工程质量管理体系软件》，加强施工现场质量管理，力争2005年全省建筑工程项目全面运用管理软件进行质量管理和资料的收集。



抄送：本厅办公室、建设处、质安总站，各市、州质监站
湖北省建设厅办公室 二〇〇四年五月十四日印发

印数 60份



建筑工程施工质量管理体系用户试用报告

用户试用报告

说明：
为了更好地了解试点企业对建筑工程施工质量管理体系的使用情况和试点工作完成情况，请企业负责人填写本表，填写后直接交给质量管理实施小组，谢谢！

填表人姓名：周志亮

项目基本概况	试用单位名称： <u>中建三局总承包公司</u>
	试用项目名称： <u>南方集团</u>
	试点单位负责人及联系方式： <u>周志亮 1472716747</u>
	服务人员： <u>王银芳、章胜平、王耀华</u>

产品功能方面：	试点单位需求变化方面：
<input type="checkbox"/> 能满足企业全部功能要求	<input type="checkbox"/> 企业需求基本没有变化
<input type="checkbox"/> 能满足企业 80-90%功能要求	<input type="checkbox"/> 企业需求经常变化
<input type="checkbox"/> 能满足企业 70-80%功能要求	<input checked="" type="checkbox"/> 企业偶尔有较小的需求变化
<input type="checkbox"/> 能满足企业 50-70%功能要求	
<input type="checkbox"/> 只能满足企业 50%以下功能要求	

产品性能方面：

基本可以接受

有个别地方提出了建议（小于5处）

不方便的地方较多（大于5处）

对操作感到很不方便，有很多地方提出意见（大于10处）

用户对系统很反感，不想改印不使用。

建筑工程施工质量管理体系用户试用报告

用户试用报告

说明：
为了更好地了解试点企业对建筑工程施工质量管理体系的使用情况和试点工作完成情况，请企业负责人填写本表，填写后直接交给质量管理实施小组，谢谢！

填表人姓名：王刚

项目基本概况	试用单位名称： <u>中建三局公司</u>
	试用项目名称： <u>华地国际公馆小区</u>
	试点单位负责人及联系方式： <u>王刚 1827167610</u>
	服务人员： <u>王银芳、章胜平、王耀华</u>

产品功能方面：	试点单位需求变化方面：
<input type="checkbox"/> 能满足企业全部功能要求	<input checked="" type="checkbox"/> 企业需求基本没有变化
<input checked="" type="checkbox"/> 能满足企业 80-90%功能要求	<input type="checkbox"/> 企业需求经常变化
<input type="checkbox"/> 能满足企业 70-80%功能要求	<input type="checkbox"/> 企业偶尔有较小的需求变化
<input type="checkbox"/> 能满足企业 50-70%功能要求	
<input type="checkbox"/> 只能满足企业 50%以下功能要求	

产品性能方面：

基本可以接受

有个别地方提出了建议（小于5处）

不方便的地方较多（大于5处）

对操作感到很不方便，有很多地方提出意见（大于10处）

用户对系统很反感，不想改印不使用。

建筑工程施工质量管理体系用户试用报告

用户试用报告

说明：
为了更好地了解试点企业对建筑工程施工质量管理体系的使用情况和试点工作完成情况，请企业负责人填写本表，填写后直接交给质量管理实施小组，谢谢！

填表人姓名：李玲

项目基本概况	试用单位名称： <u>中建三局公司</u>
	试用项目名称： <u>中南·勘察设计院科研楼综合科技楼项目</u>
	试点单位负责人及联系方式： <u>李玲 1812972218</u>
	服务人员： <u>王银芳、章胜平、王耀华</u>

产品功能方面：	试点单位需求变化方面：
<input type="checkbox"/> 能满足企业全部功能要求	<input type="checkbox"/> 企业需求基本没有变化
<input type="checkbox"/> 能满足企业 80-90%功能要求	<input checked="" type="checkbox"/> 企业需求经常变化
<input type="checkbox"/> 能满足企业 70-80%功能要求	<input type="checkbox"/> 企业偶尔有较小的需求变化
<input type="checkbox"/> 能满足企业 50-70%功能要求	
<input type="checkbox"/> 只能满足企业 50%以下功能要求	

产品性能方面：

基本可以接受

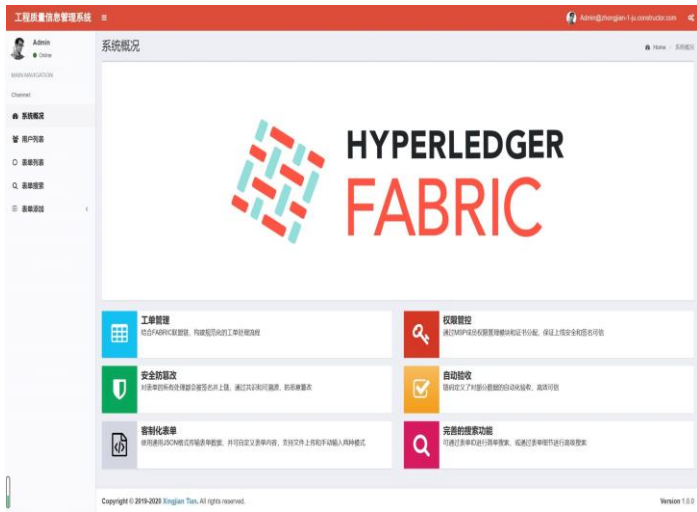
有个别地方提出了建议（小于5处）

不方便的地方较多（大于5处）

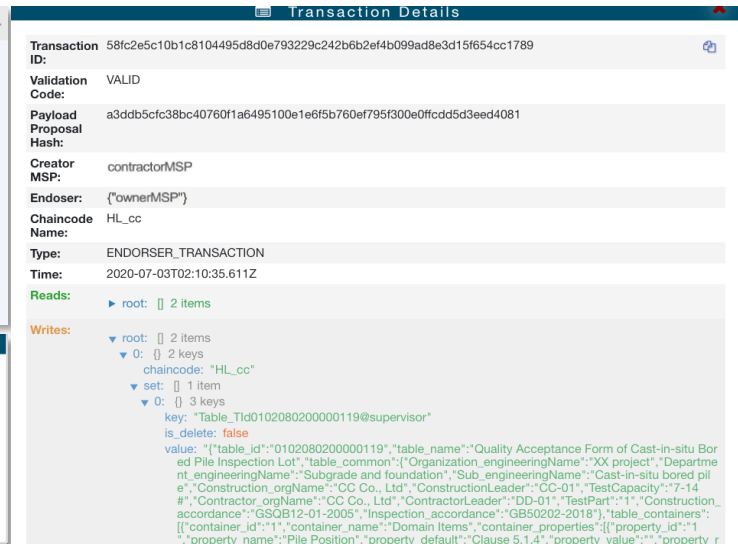
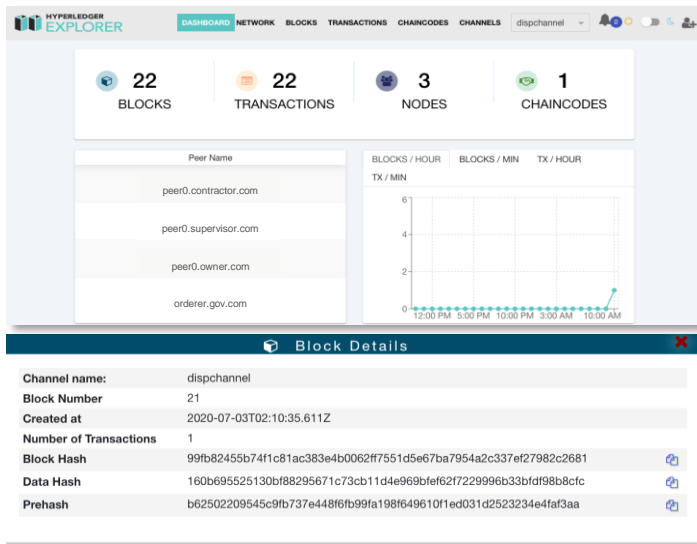
对操作感到很不方便，有很多地方提出意见（大于10处）

用户对系统很反感，不想改印不使用。

研究成果



基于区块链的工程质量信息管理原型



Hyperledger Explorer区块链可视化平台

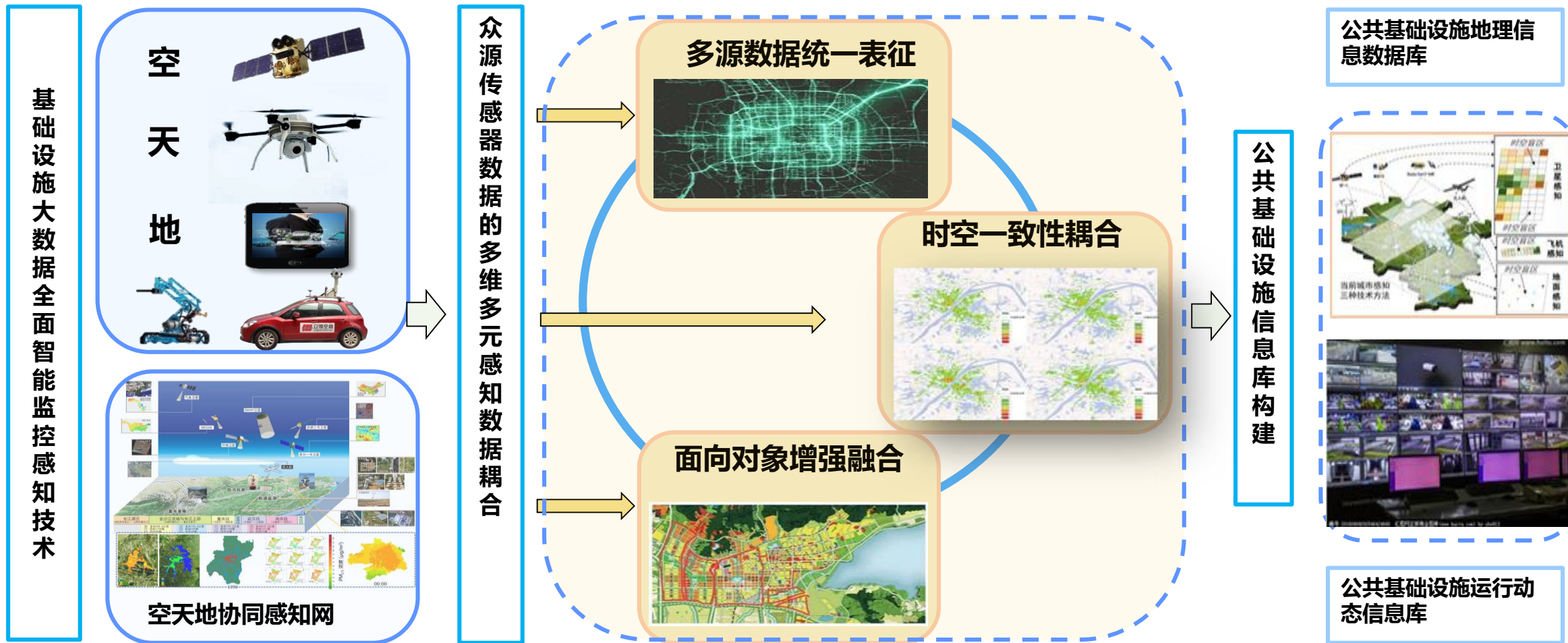


研究与实践

5. 基础设施智能运维

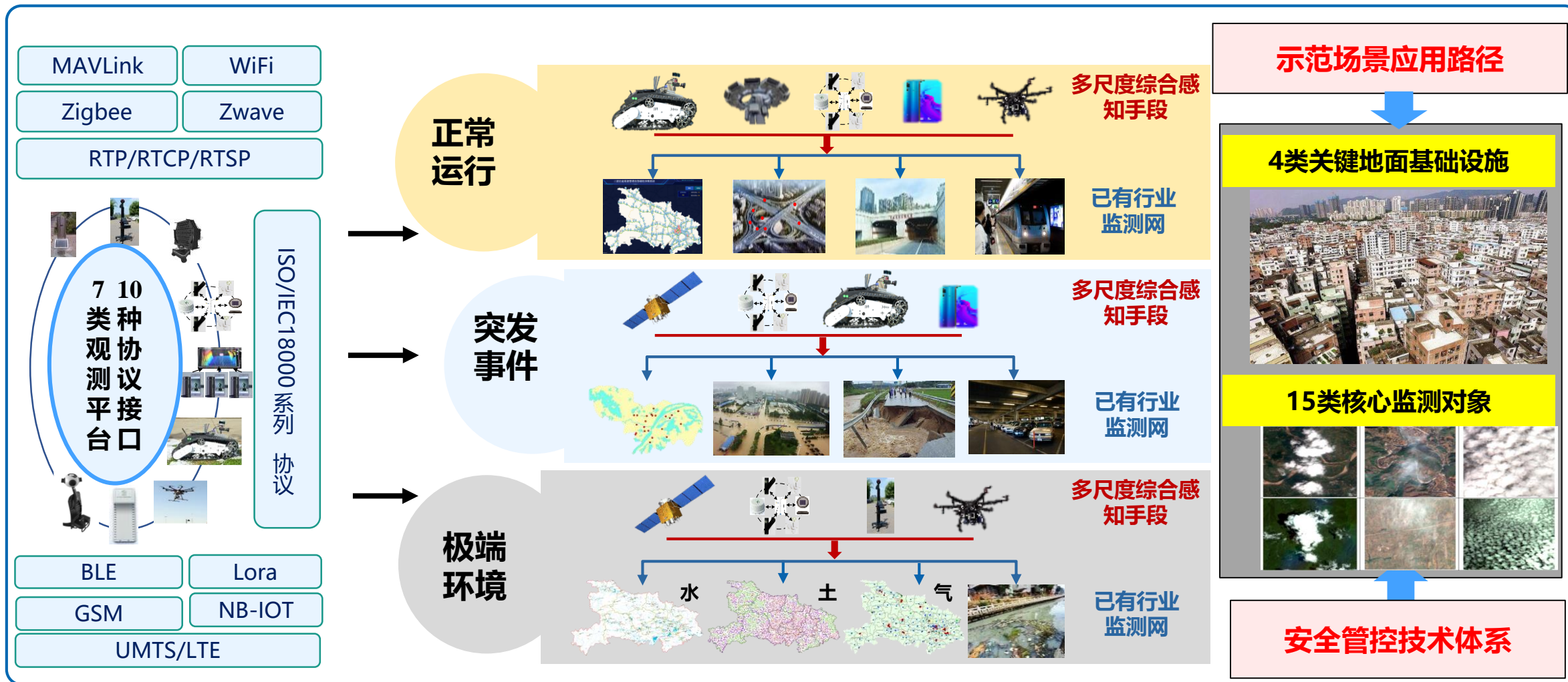
基础设施智能运维平台

研究特大城市基础设施“空-天-地”跨尺度一体化感知技术，研发多源数据耦合与全面综合感知技术，构建集中管理、多尺度响应、无缝衔接的大规模信息库

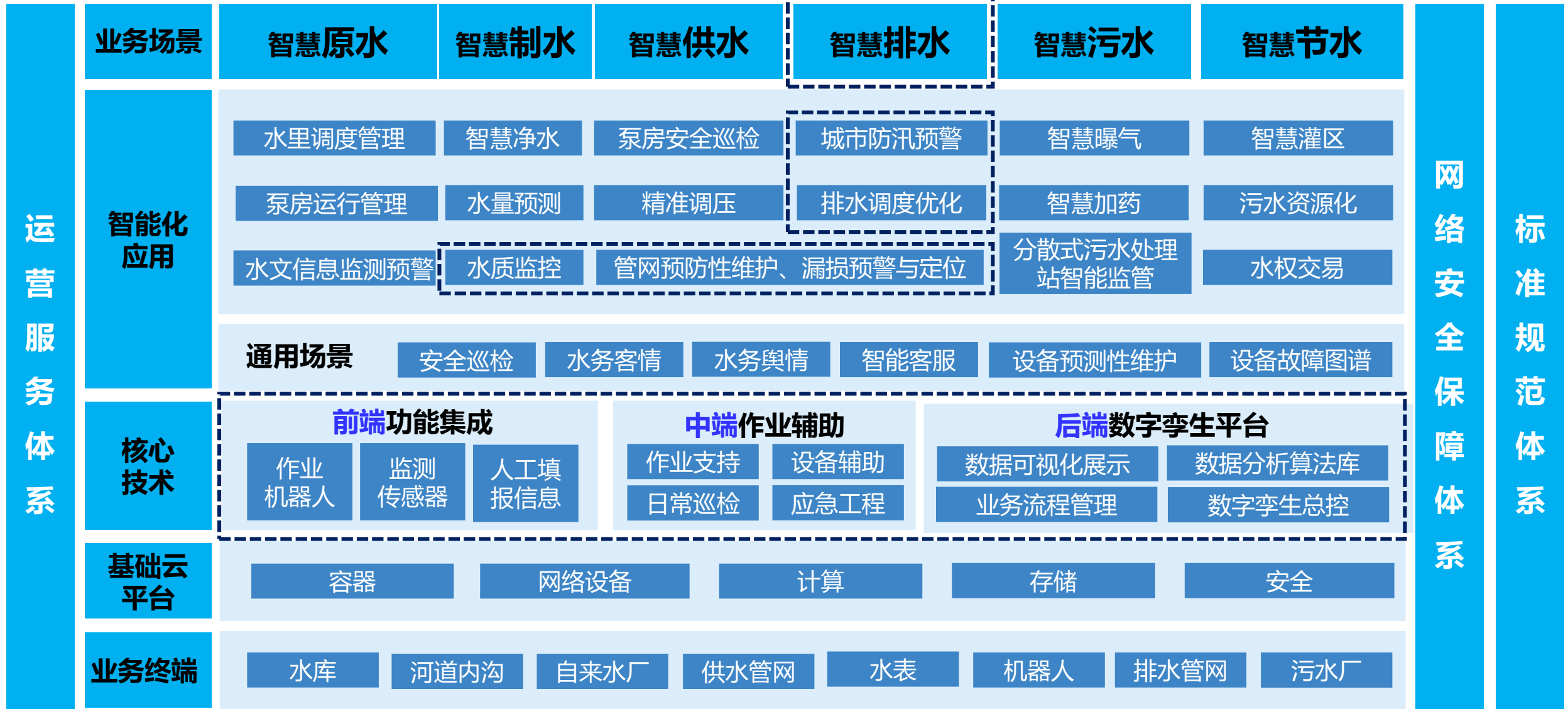


研究成果

提出**特大城市公共基础设施健康监测、应急处置与综合评估**平台技术体系，实现地面公共基础设施运行**综合管控**



实际应用—城市排水管道综合作业系统



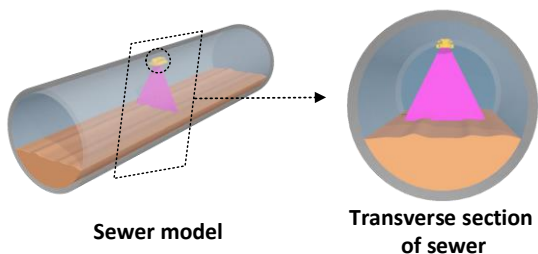
以“智慧排水”为核心，打造“前端-中端-后端”城市排水管道全方位综合作业系统

实际应用—城市排水管道综合作业系统

● 关键科学问题一：水下声呐噪声处理及环境三维重构

管道淤积检测难

高水位工况管道内视觉受限，
采用环扫声呐检测管道淤积



存在：**多种动态干扰因素**

声呐自干扰 设备自噪声、精度

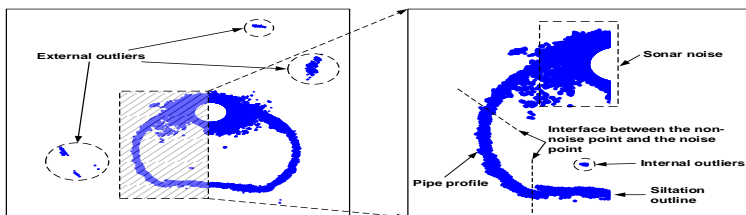
水声干扰 湍流、不同流速

杂质干扰 悬浮颗粒、固体

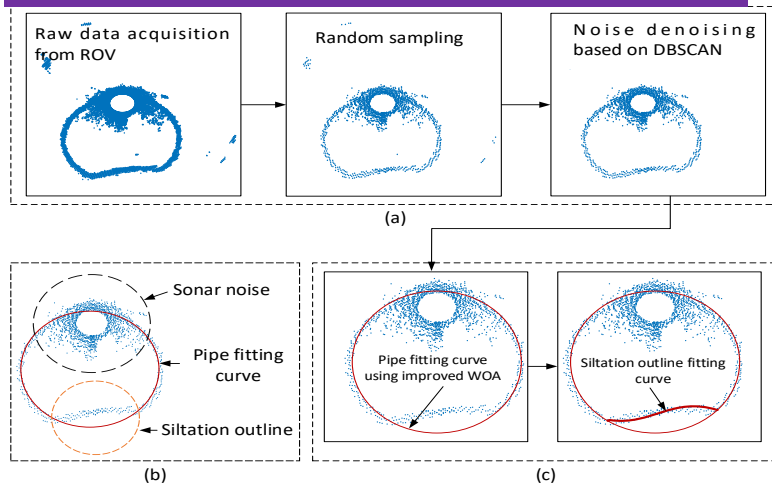
.....

去噪及建模技术路线

管道截面点云数据分类

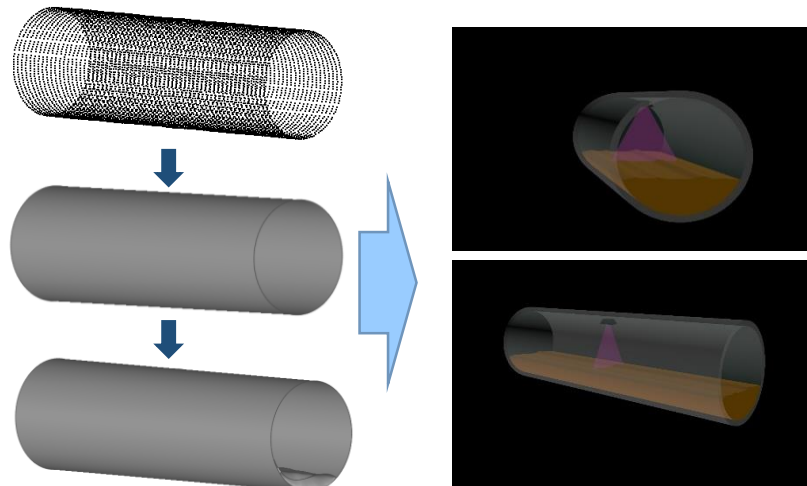


采用智能优化算法 (WOA) 解决传统滤波去噪算法难处理高密度噪声的问题



现阶段已完成工作

已完成：**环扫声呐噪声处理**以及**三维重构技术**，有效去除数据的噪声污染；



管道及管内淤积模型

污水处理系统数字孪生平台应用

下阶段：完成水下环境实时**动态三维重构**，实现管网数据**可视化平台展示**。

实际应用—城市排水管道综合作业系统

● 关键科学问题二：水下弱感知环境下机器人作业防倾覆性能优化设计

现存问题

排水管道具有如下特征：

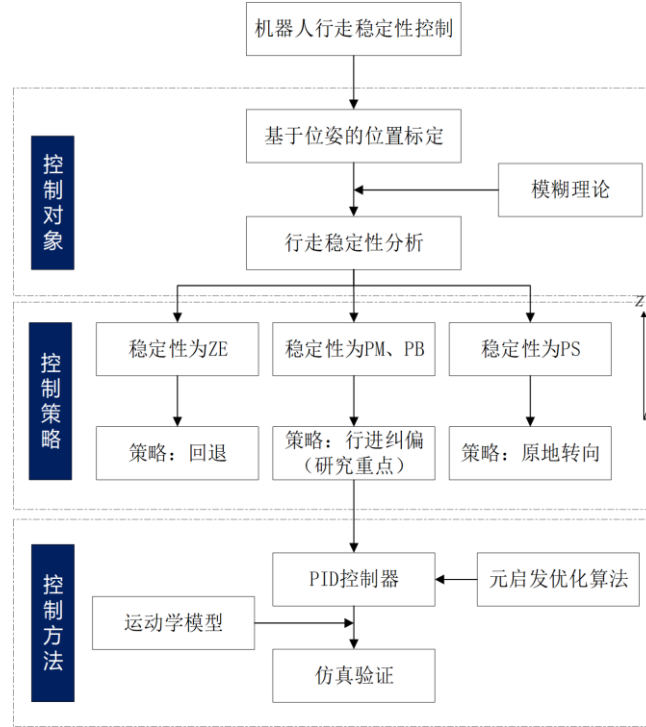
- GPS信号差：难以**精准定位**
- 管内淤泥不均：难以**沿预设路径稳定作业**
- 地下基础设施：能见度低，难以**手动修正**航向误差



一旦产生并保持偏航状态，机器人最终会在管壁作用下**倾覆**，难以回收并造成严重淤积

控制深隧机器人稳定性成为关键问题！

研究思路与关键技术

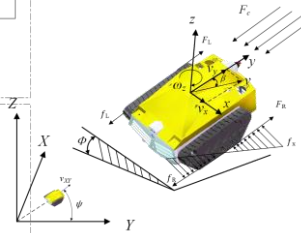


研究思路

$$Q(s) = f(E, \psi)$$

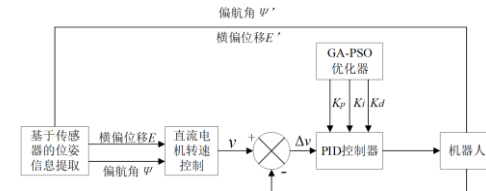
if $\psi = PB$ and $E = PB$
then $Q(s) = ZE$

行走稳定性定义及其模糊推理



$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\cos \psi}{2} & \frac{\cos \psi}{2} \\ \frac{\sin \psi}{2} & \frac{\sin \psi}{2} \\ \frac{1}{B_c} & -\frac{1}{B_c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (1-i_r)\omega_r \\ (1-i_l)\omega_l \end{bmatrix}$$

机器人运动学模型



元启发算法优化控制器设计

已完成工作与下一步计划

已完成工作：

- ✓ 行走稳定性分析及其模糊推理
- ✓ 控制策略分析
- ✓ PID控制器设计

下一步计划：

- ✓ 仿真验证
- ✓ 在机器人上进行场景试验及算法模拟

建立机器人行走稳定性控制策略及控制方法，实现机器人倾覆风险判别及智能应对方案生成

实际应用—城市排水管道综合作业系统

● 关键科学问题三：水下复杂环境机器人同时定位和建图技术（SLAM）

SLAM是Simultaneous Localization and Mapping的缩写,即**同时定位与地图构建**。它是指搭载特定**传感器**的主体,在**没有环境先验信息**的情况下,于**运动过程**中建立**环境**的模型,同时估计自己的**运动**。

水下SLAM难点



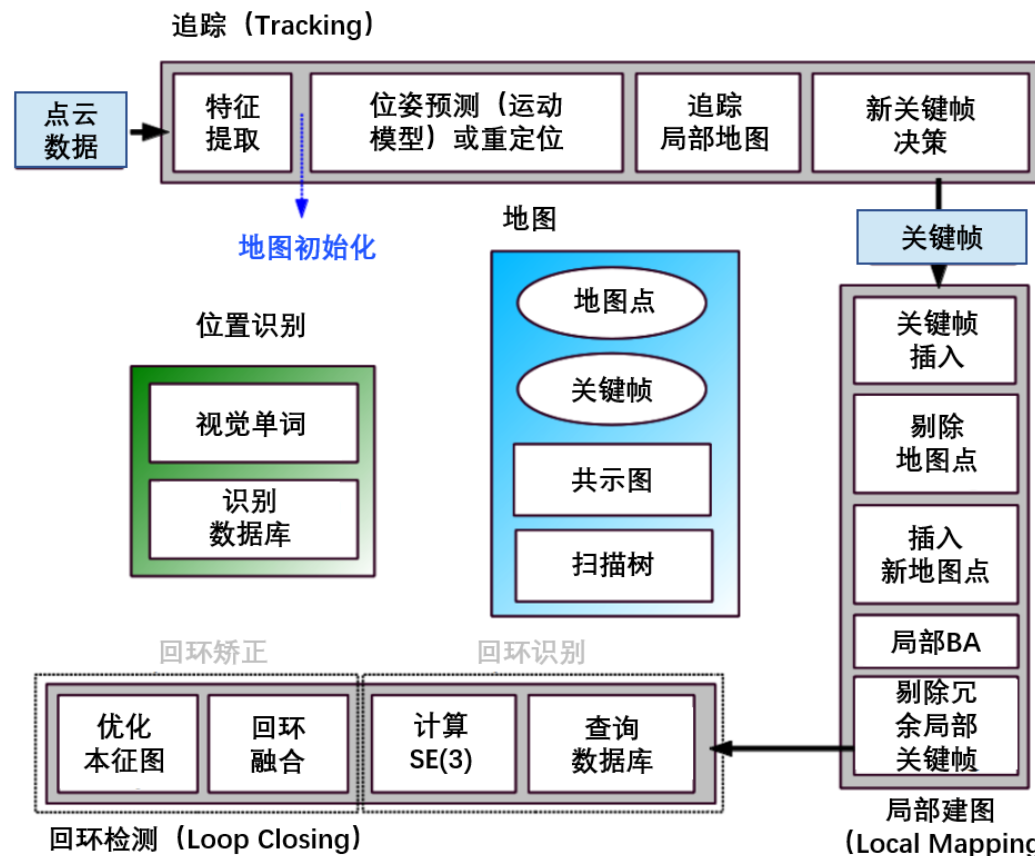
障碍物 浑浊水体

浑水弱感知环境

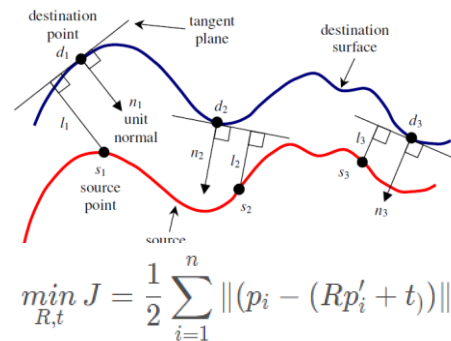
多障碍物复杂地形

淤积先验知识缺乏

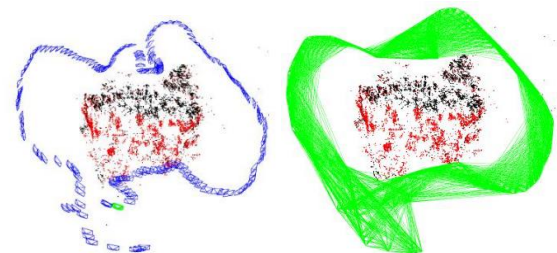
水下SLAM框架



关键技术



基于ICP配准算法的机器人位姿估计



基于光束平差法 (BA) 的地图优化

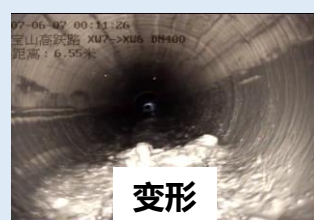
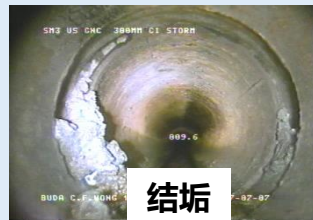
已完成基于ICP配准算法的机器人位姿计算, 下一步构建关键帧实时局部地图

实际应用—城市排水管道综合作业系统

● 城市排水管网综合作业机器人体系

业务难点

管道检测



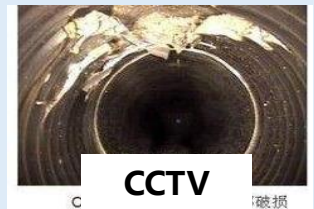
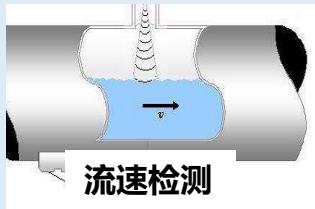
管道结构性、功能性失效

管道清淤



城市内涝、污水外溢

现有方案



检测方式局限，人工检测危险，检测环境限制大



排水管网疏通作业环境差、效率低、不安全

解决方案



集成多管况，多功能城市排水管网检测清淤一体化机器人体系

实际应用—城市排水管道综合作业系统

● 移动式管网水质调查与人机协同辅助作业车

日常巡检

应急抢险

业务难点

工地泥浆水
工业废水偷排

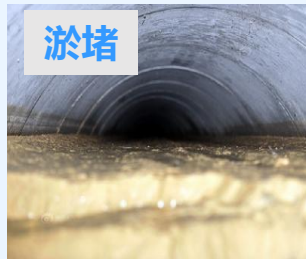


管道水质、水位异常

管道水位异常



淤堵



错位



管道功能性、结构性失效

管道淤堵



管道破损



局部积水

城市内涝

现有方案

人工走管采样



工作量大、反应时间长

污水厂水质检测



人工疏捞



以人工为主，工作前需截流

QV/CCTV检测



井口围挡



可移动泵站抽水

发现问题-围挡-排水，反应时间长

优化方案



在线监测设备



作业车搭载移动实验室实时检测



检测、清淤一体化机器人



作业车辅助机器人下井及回收



日常巡检作业车



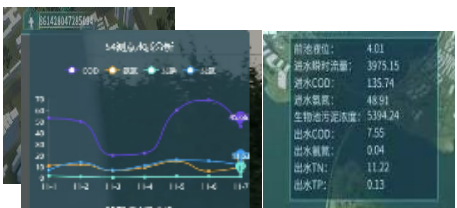
便携式排水设备



城市水环境综合管理平台—重点工作内容



生产数据全流程覆盖



水厂传感器与生产设备数据



作业车现场数据采集



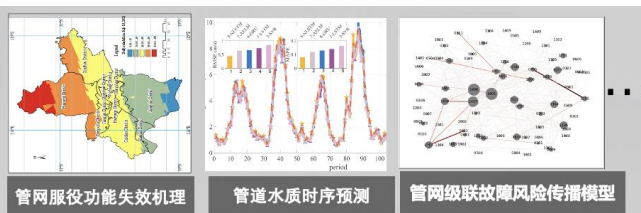
视频监控数据



作业机器人实时作业状态及检测数据

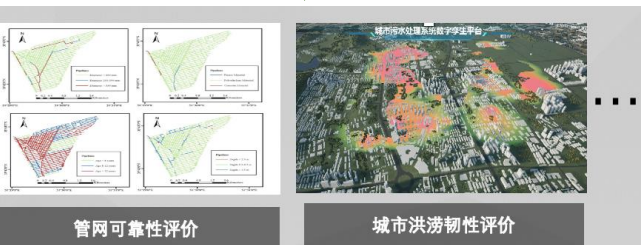
人工智能关键算法研发

精准模拟预测



多因子水模型分析算法库

实时决策控制



智能决策支持系统

城市级水管网数字孪生平台展示

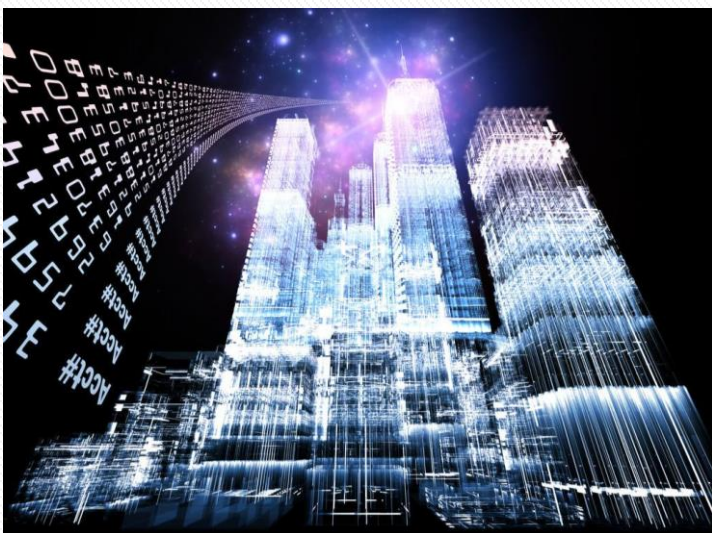


雨洪模型展示



机器人远程控制

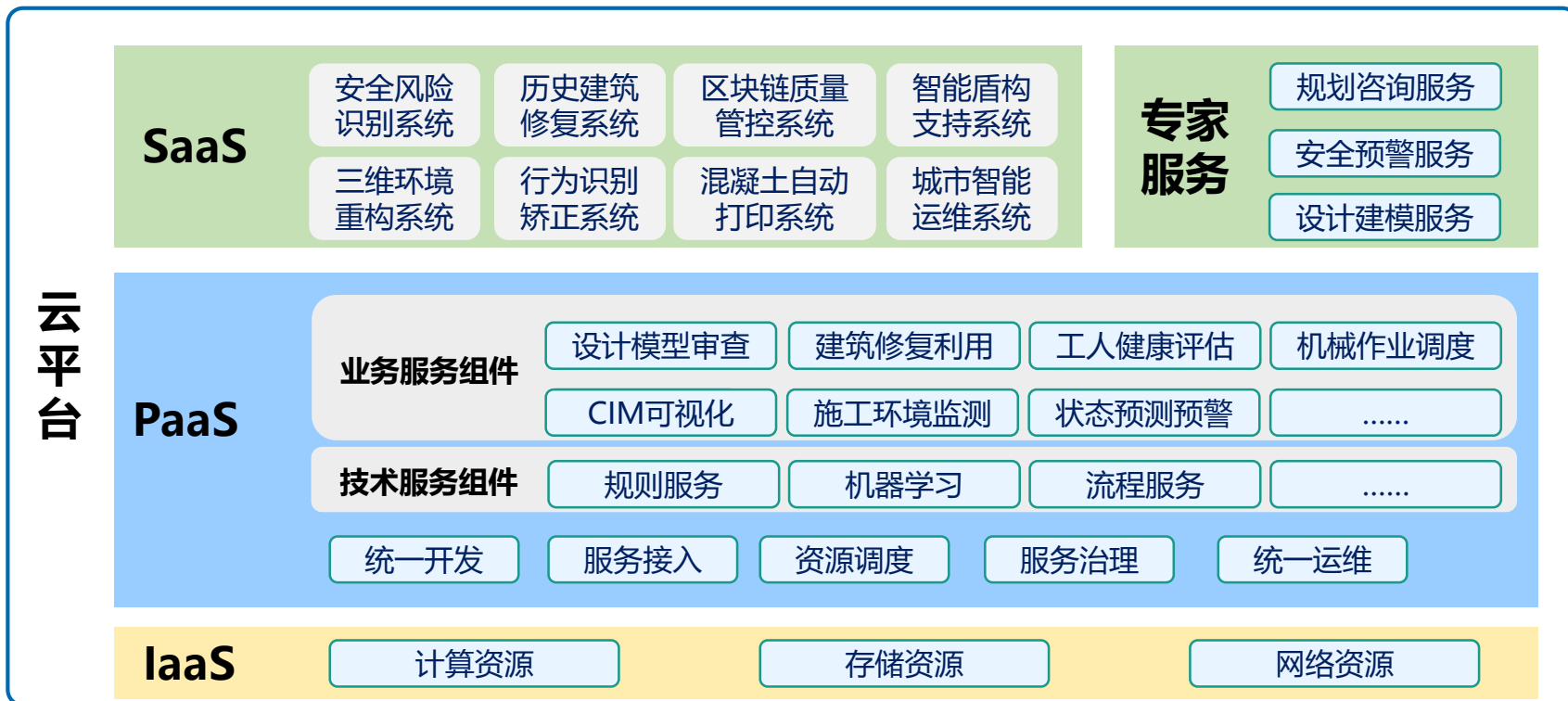
将海量水务信息进行及时分析与处理，并做出相应的处理结果辅助决策建议，以更加精细和动态的方式管理水务系统的整个生产、管理和服务流程，从而实现智慧化发展



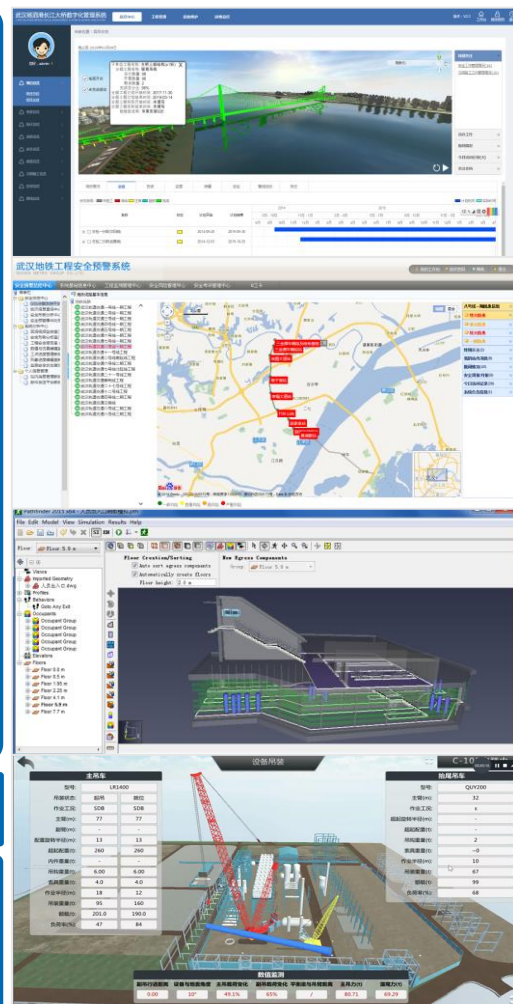
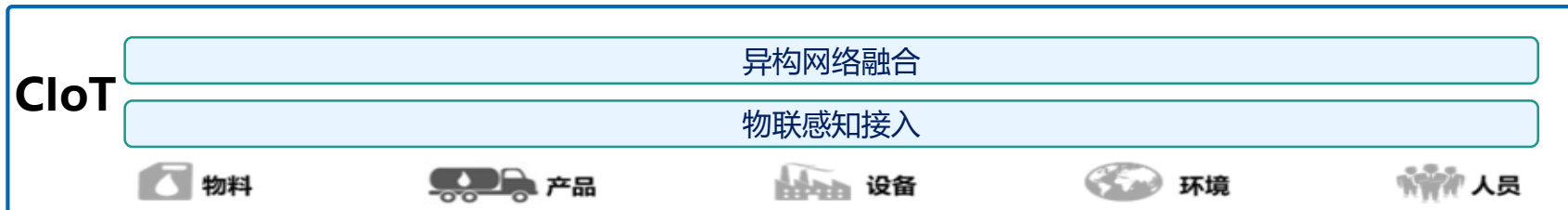
研究与实践

6. 华云智建平台

建立**华云智建**公共基础平台，实现智能建造中**智能规划**、**算法设计**、**虚拟/自动化施工**和**智慧运维**的平台承载能力，包括安全可控的**工程物联网CIoT**、开放智能的**建造云平台**（IaaS、PaaS、SaaS）、融入**各应用实践**，并提供基于行业领域经验的**专家服务**、**标准体系**等



现有数据：1400T视频、文本质量安全监测数据、万余份日报、千余条隐患整改数据、三万余BIM构件等



华云智建平台

谢谢

《数字建造》

骆汉宾 教授