



建筑产业化与智能建造协同发展的思考



东南大学土木工程学院 郭正兴

2020年11月



1 汽车制造业变革之路的启发

2 装配式混凝土建筑走向全预制智能建造



1 汽车制造业变革之路的启发



汽车生产平台的第一次革命——亨利·福特发明流水线

汽车生产平台的第二次革命——大众的生产线平台化

大量采用共同的零部件，采取相似的底盘、车身结构、行驶结构、相似的生产工艺、轴距等



汽车生产平台的第三次革命——丰田的模块化架构



TNGA “丰巢” 是Toyota New Global Architecture的首字缩写，直译过来就是“丰田新全球构架”，而“丰巢”则是其中文名称。



模块化结构可以简单地理解为拼乐高积木。一辆汽车的动力模块、电器模块、底盘模块、车身模块等都可以乐高积木般随意组合，各模块接口在架构设计之初就实现了标准化和共享化。在“丰巢”架构中，生产平台仅仅是其中的一小一部分。具体来说，这个架构包含了整车制造相关的研发、设计、生产、采购于一体。在全新的TNGA架构下，丰田讲可以获得更精益化的生产模式、不同车型之间更加通用化的生产平台和更强的产品力。





丰田TNGA的全称是Toyota New Global Architecture，即丰田新全球架构。严格来说，TNGA是一个集合汽车研发、设计、生产、采购等在内的全产业链价值平台，其主要作用在于从企业体系、研发体系、生产体系、零部件体系将丰田内部与合作供应商的资源进行优化整合。目前已知车型中，丰田C-HR、凯美瑞、卡罗拉等丰田大部分车型都是基于该平台打造的。



模块化架构已经成为全球车企的主要发力方向，消费者较为熟知的就有丰田TNGA、大众MQB/MLB、宝马UKL/CLAR、沃尔沃CMA、吉利BMA等架构。模块化架构是国际化车企技术研发能力、生产管理水平、企业资金实力与供应链整合等综合能力的重要体现。



□ 把握科技革命的新机遇

➤ 发达国家的建造发展战略

- 美国基础设施重建战略规划，2017年
- 英国建造2025，2013年
- 德国交通与数字基础设施部发布《数字化设计与建造路线图
- 日本国土交通省 “i-Construction(建设工地生产力革命)”

产品

舒适
美丽
健康
低碳
耐久

过程

效益
安全
环保
可持续

创新





□ 把握科技革命的新机遇

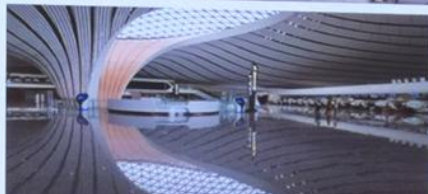
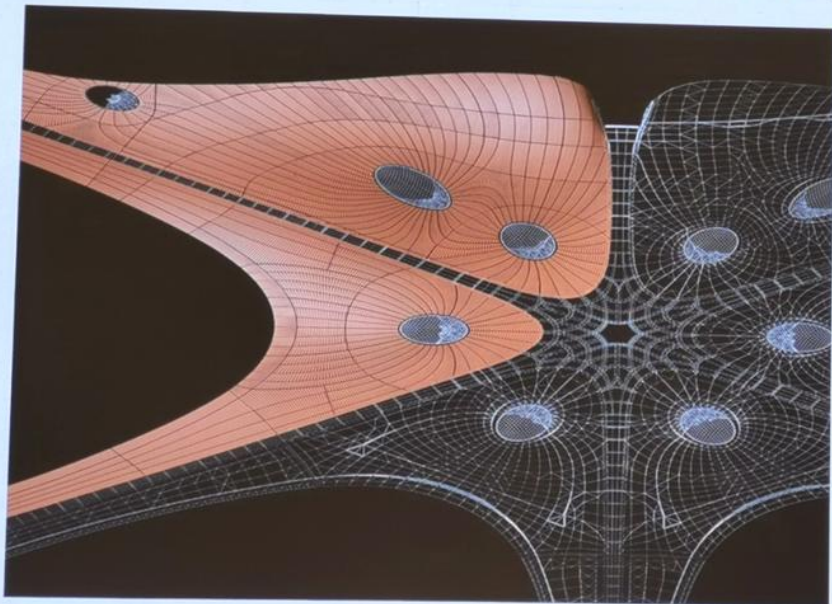
➤ 关于推动**智能建造**与**建筑工业化**协同发展的指导意见

- 走新型建筑工业化之路
- 确立了“中国建造”的战略地位
“中国建造核心竞争力世界领先”





- 产品设计：是算出来的，而不是画出来的
- 模型定义工程产品（从形式逻辑到数理逻辑）





把数字世界融入每一栋建筑，构筑数字孪生世界的起点

智能技术贯穿建筑物全生命周期三链，用建闭环，升级服务供给体系，优化基础设施资产效用



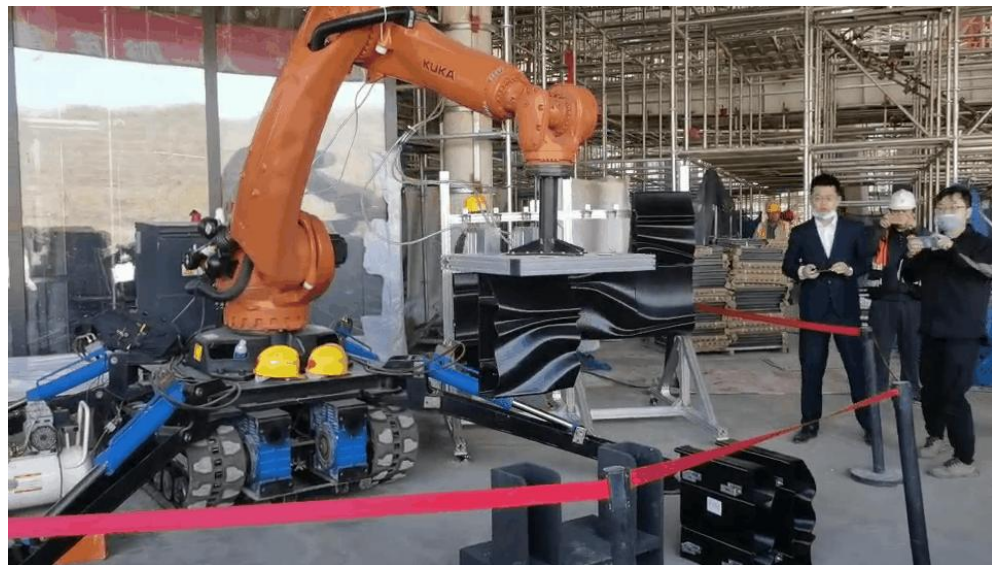
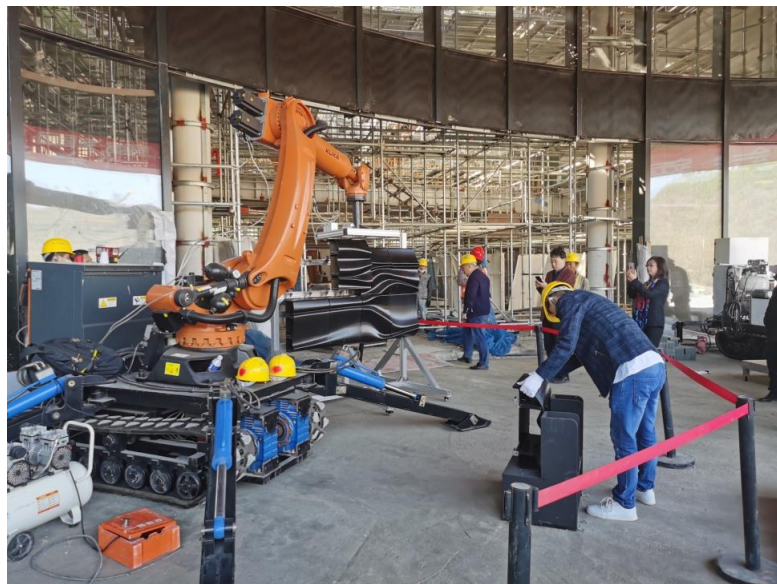


东南大学成贤学院正在施工3D打印的茶吧

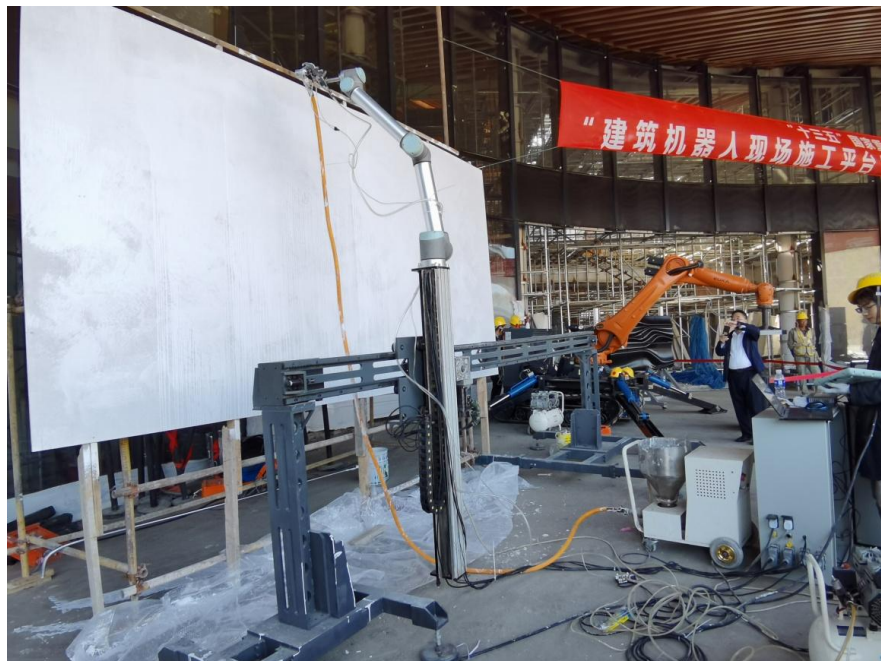


江苏园博园（一期）项目奖城市展元丽笙酒店机器人砌筑装饰外墙





履带机器人安装3D打印的装饰幕墙板



水平有轨行走建筑机器人喷涂外墙装饰面



3.2-1 施工电梯与外爬架一体化工作系统示范

- 示范背景
- 示范设计
- 安装过程
- 测试过程
- 应用效果

施工电梯与外爬架一体化工作系统

针对爬架工程设计使用

➤以SC型施工电梯为基础进行改造设计

可以让施工电梯直接运行至爬架覆盖楼层，并直登顶部工作面



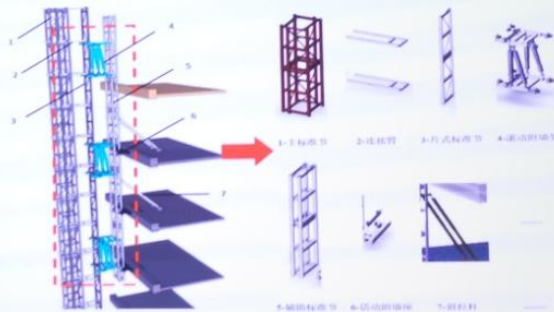
3.2 示范成果

3.2-1 施工电梯与外爬架一体化工作系统示范

- 示范背景
- 示范设计
- 安装过程
- 测试过程
- 应用效果

高位附墙结构的组成

- ◆ 主标准节
- ◆ 连接臂
- ◆ 片式标准节
- ◆ 滚动附墙架（三座）
- ◆ 辅助标准节
- ◆ 活动附墙座（二座）
- ◆ 斜拉杆（二道）

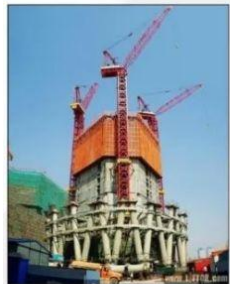




焊接效率



单道焊缝的焊接速度机器人是人工的2-3倍，当焊接填充量越大、焊业的效率比人工优势更加明显。且机器人可24h焊接，日完成工作量大。



第一代：广州西塔



第二代：福州世茂



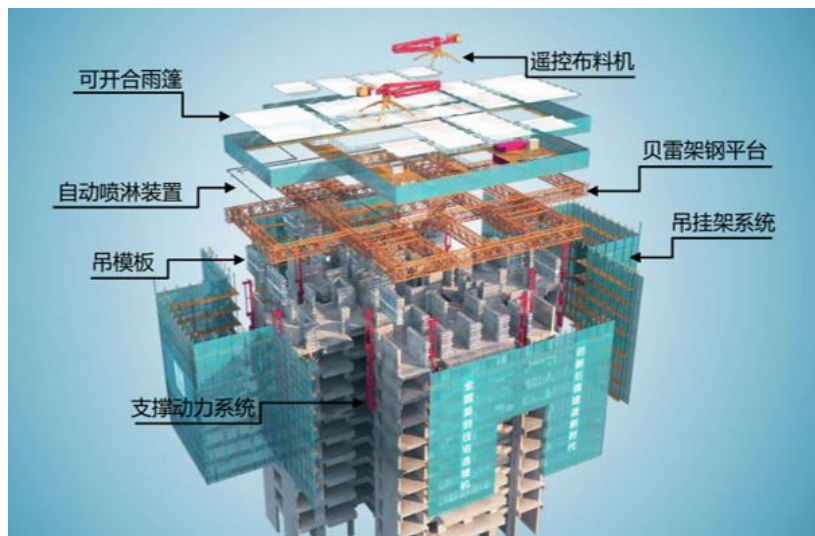
第三代：武汉中心



第四代：北京中国尊



近年来，经过对超高层施工装备的不断研究与试验，中建三局已相继开发了四代超高层施工顶升模架系统，形成了“智能化超高层建筑施工集成平台”，成为名副其实的“空中造楼机”。在前四代空中造楼机（传统造楼机）的基础上，新一代“住宅造楼机”实现了由重型造楼机向轻型造楼机、由摩天大楼向普通高层住宅的转变。



“住宅造楼机”是采用轻型贝雷架+轻型通用型支点搭建的一套适用于住宅剪力墙体系的轻型造楼机

“住宅造楼机”由钢平台系统、支撑系统、动力及控制系统、模板系统、挂架系统、安全防护系统等组成



传统造楼机



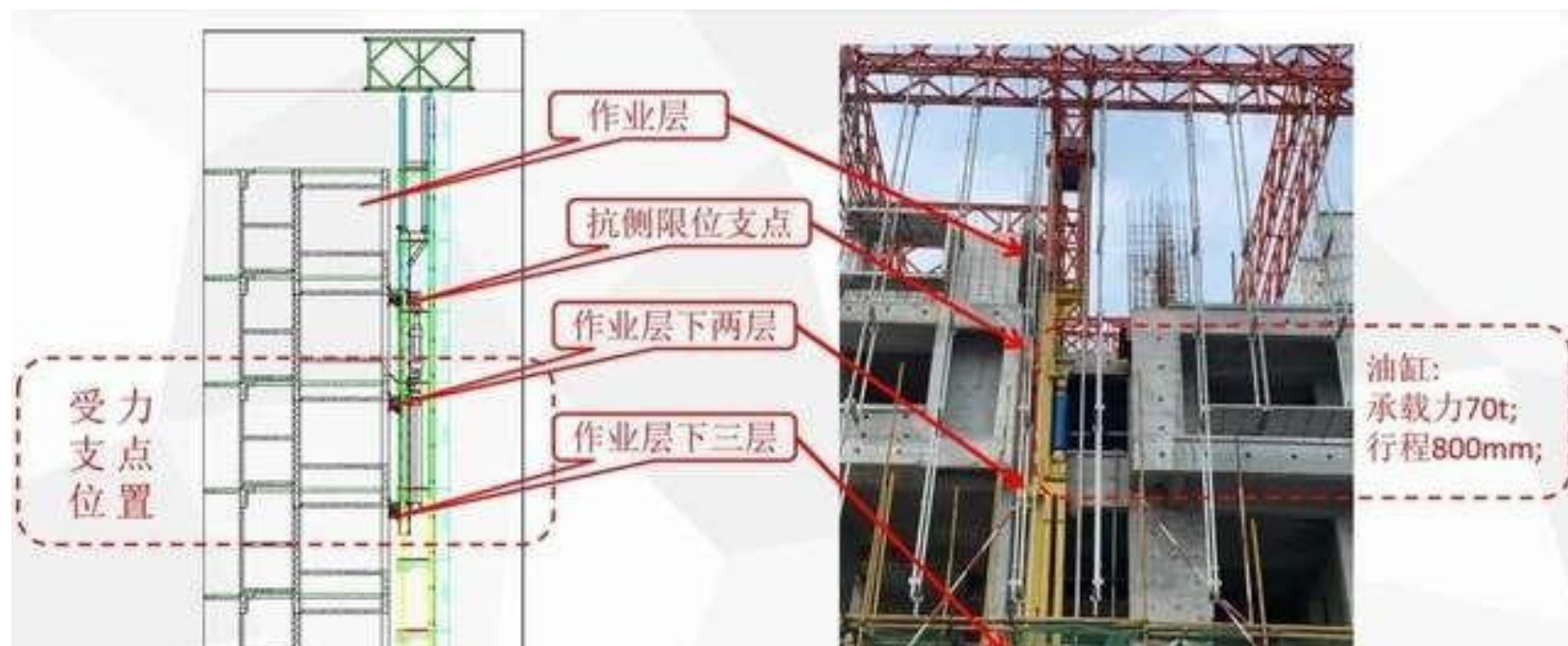
传统支点50t



住宅造楼机



新型支点5t





传统造楼机



仅施工竖向墙体



竖向墙体、水平楼板同步施工

住宅造楼机



传统造楼机



无锡国金造楼机1000吨



住宅造楼机



御湖壹号造楼机270吨



传统造楼机



通过小天窗调运材料



住宅造楼机

大量敞开放式塔吊@办资质





作业环境分析。通过电动雨篷、集成配电系统、喷淋设备等措施，有效改善作业环境。

室外变室内
有效降噪20分贝



集成喷淋
降尘降温

爬架交通情况



斜撑碰头



走道不连续

造楼机交通情况



无碰头斜杆



楼梯不占用走道







对比项		单位	20#楼	22#楼
最近5层 各道工序对比	钢筋工人数	人	15	15
	钢筋绑扎时长	小时	24	24
	铝模工人数	人	24	24
	铝模拼装时长	小时	24	29
	混凝土工人数	人	15	10
	浇筑时长	小时	8	17
	每层需要天数	天	4	5

从最近施工的5层楼平均值来看，工序对比方面，20#楼钢筋绑扎节约0小时，占比0%，铝模拼装节约5小时，占比17.2%；混凝土浇筑时长节约9小时，占比52.9%；建造速度方面，20#楼4天建造一层楼，22#楼5天建造一层楼，节约1天，占比20%。

在模板拼装和混凝土浇筑两道工序中提效最为明显。主要原因为模板整体式悬挂提升，两台布料机同时浇筑，降低了工人的劳动强度，缩短了工序施工时间。

序号	工序	节约时长 (h)	提效率
1	钢筋绑扎	0	0%
2	模板拼装	5	17.2%
3	混凝土浇筑	9	52.9%
4	总体建造速度	1天	20%



20#楼住宅造楼机			22#楼爬架		
费用类别	金额 (元)	备注	费用类别	金额 (元)	备注
人工费	773,015.00	含税	租赁费	1,794,659.36	含人工
挂架	1,740,654.00	购买	/		
平台	702,333.00	购买	/		
布料机	347,000.00	购买	/		
支撑系统	1,660,000.00	购买	/		
雨篷	100,000.00	购买	/		
监控、喷淋	20,000.00	购买	/		
小计	5,343,002.00		小计	1,794,659.36	

对比项	单位	20#楼住宅造楼机	22#楼爬架
一次性投入费	万元	534	310
历次周转补充	万元	85	50
历次租赁费用	万元	约200	约180
单次租赁利润	万元	115	130
回本租赁次数	次	4	2
回本当次总成本	万元	789	360
回本当次总收入	万元	800	360

造楼机回本计算：令 $200 \cdot n - (534 + 85 \cdot n) \geq 0$

可得 $n=4$ ，此时 $200 \cdot 4 - (534 + 85 \cdot 4) = 11$ 万

爬架回本计算：令 $180 \cdot m - (310 + 50 \cdot m) \geq 0$

可得 $m=2$ ，此时 $180 \cdot 2 - (310 + 50 \cdot 2) = 0$

从以上成本分析表中可以看出，20#楼住宅造楼机此次投入534万，考虑每次周转需要增加85万，第4次租赁时，共计投入成本789万，共计收入200万，获利11万。



序号	安全隐患描述	住宅造楼机		铝膜+爬架	
		特征描述	风险等级	特征描述	风险等级
1	雷顶作业, 临边防护缺失	永不冒顶	☆☆☆☆☆	抢工时出现冒顶现象	★★★☆☆
2	提升时架体坠落	三级防坠	☆☆☆☆☆	整体性差, 分片提升	★★☆☆☆
3	露天作业中暑	雨篷遮阳, 喷淋降温	☆☆☆☆☆	作业与防暑矛盾	★★★☆☆
4	电箱电线外露, 发生触电危险	电器位于平台顶, 更受保护; 工人一般不在此作业	★☆☆☆☆	结构层尖锐物品容易破坏电线保护层, 造成漏电	★★★☆☆
5	塔吊司机攀爬时坠落	平台顶集成塔吊上人通道, 缩短塔吊攀爬距离	★☆☆☆☆	塔吊需要攀爬至少20m	★★★☆☆
6	布料机转位坠落伤人	两台固定布料机覆盖所有工作面, 不需要转运	☆☆☆☆☆	浇筑400m³需要转位3次	★★☆☆☆
7	吊篮施工, 外保温工人高坠	外保温工人利用造楼机挂架施工, 且没有挂座缺口	☆☆☆☆☆	外保温工人利用爬架施工, 但挂座缺口需要后做	★☆☆☆☆
8	架体堆载其他材料	承载量大, 可堆载部分材料	★☆☆☆☆	有一定承载量, 可堆载少数材料	★★★☆☆
9	卸料平台出架体开口, 临边隐患	利用采光井设置掉料平台, 无临边高坠隐患	☆☆☆☆☆	卸料平台处临边高坠风险极大	★★★☆☆
平均得分		/	★*3	/	★★★☆☆

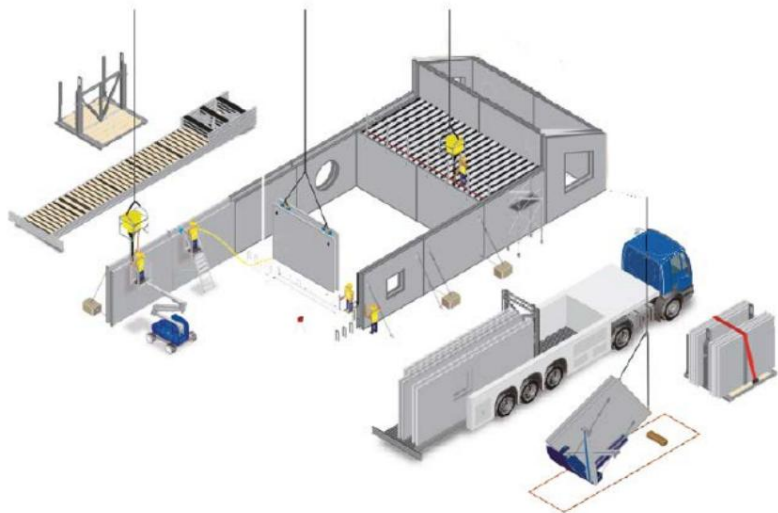
知至 @小强哥



2 装配式混凝土建筑走向智能建造



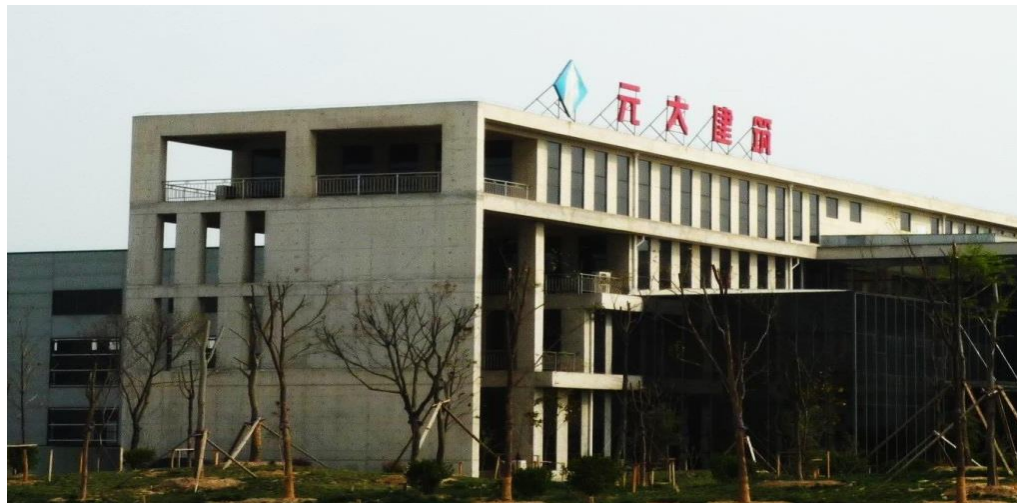
2.1 反思:源于欧洲的双板叠合墙成功之道



Double wall 结构体系是欧洲最为成功的依托自动化生产线生产其主要构件



江苏元大建筑引进的装配式双板叠合墙体系



2011年江苏元大建筑科技公司的引进德国全自动double wall生产线及试点工程



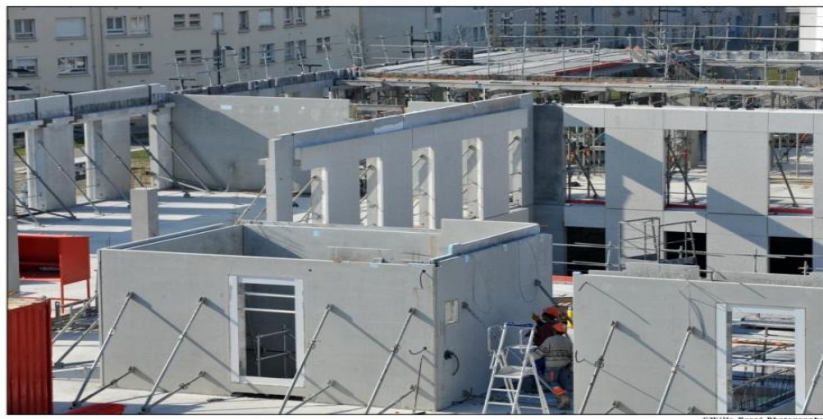
该生产线整体从德国引进，实现了从钢筋下料、组装到混凝土浇筑和养护的全过程自动化生产



德国也有半自动的双皮墙生产线（最早合肥引进的生产线）



半自动双皮墙生产线的墙板翻转生产（三一筑工也能生产）



法国的双板墙应用



江苏元大的双板墙试点工程应用



高精度大块预制混凝土墙板构件



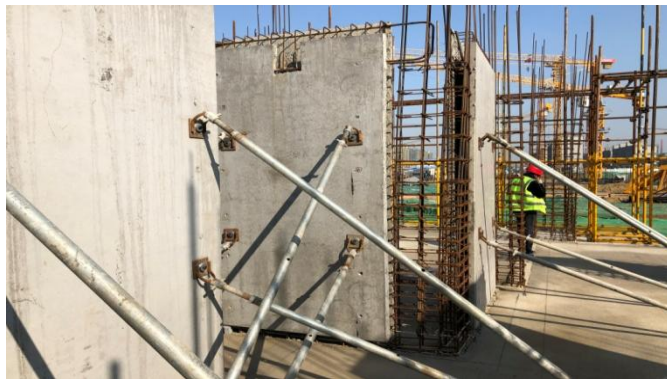
采用边缘构件现浇，楼板叠合现浇，双皮墙100mm现浇层内上下层内插U形钢筋搭接连接



浙江宝业在合肥保障房工程上预制双皮墙结构体系应用



南京江宁肖家山预制双皮墙结构体系得到应用，竖向钢筋插入上层方便，100mm空腔混凝土浇筑结合度要特别关注。





该体系的现浇与预制组合依然未解决高效施工问题。



该体系应用中预制叠合板下的支撑高效施工问题未得到解决。

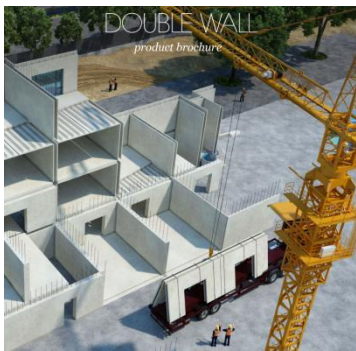


基于双皮墙结构体系的启示：

双皮墙结构体系

匹配的构件自动化生产线

匹配的全预制构件安装工艺





2017年初江苏出台文件，并成为全国第一个针对“三板”出台推广应用政策的省份。

预制构件基地建设是推广应用装配式混凝土建筑的基础，江苏目前规模以上（有自动化生产线，年产3万立方米以上）的企业约160**家，大体南通98家，南京30家，苏州40家，无锡12家，镇江12家，扬州10家，泰州20家，盐城15家，常州15家。**

江苏预制构件生产基地布局完成，产能强大，如何良性有序发展成为新的困局。



装配式混凝土剪力墙结构应用的问题



混凝土剪力墙结构是目前我国高层住宅的主要结构形式，目前实施装配化的主要做法是：

- **边缘构件现浇，分布钢筋区墙板预制（上海和南京预制率不同），楼面采用钢筋桁架叠合板，预制楼梯和预制阳台；**
- **现浇的模板：铝合金模板、胶合板+工具式背楞、胶合板+扣件钢管。**



困惑：这么小的预制墙板块和钢筋桁架板块的应用是我们期望的发展方向吗？预制、运输和安装均效率低。



叠合板下支撑和现浇墙板的模板支撑未看到简洁和流畅高效的施工，让人对预制装配结构很失望。



仔细了解，当前的支模作业承包模式决定了叠合板下的支撑方式。





预制板下的支撑架采用何种形式值得关注，图中是采用盘扣式钢管支架形式。



预制板下放置了很多木枋，感觉与现浇楼板支模架比优势不大，很有必要研究优秀的特种支架系统。



深圳地区、万科、碧桂园等开发企业主推铝合金模板及可调钢支柱的模板支撑体系，铝合金模板体系的效率和用工量值得推敲，主要优点在不漏浆，构件成型质量好。



高层剪力墙住宅中现浇梁和预制板的混合支模值得改进

东南大学土木工程施工研究所



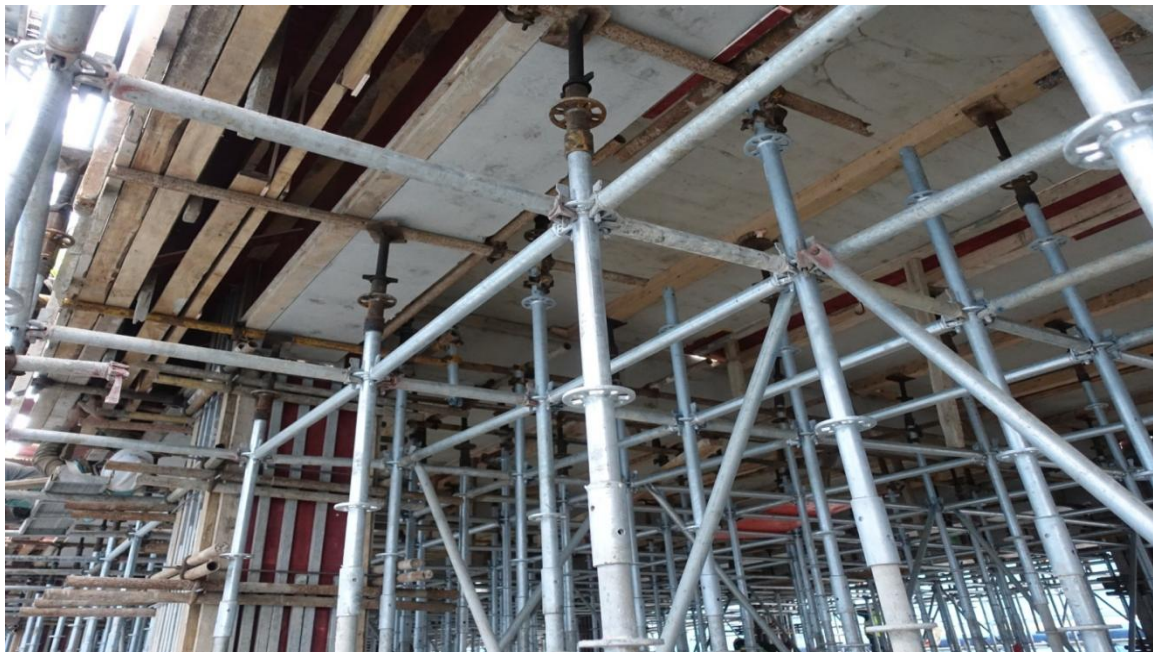
可调钢支柱支撑体系



装配式砼框架结构应用的问题



困惑：江苏的装配混凝土框架结构体系应用技术在倒退，应用于政府投资的学校、人才公寓、医院等公共建筑时，现浇柱、现浇梁与预制叠合楼板混合应用，带来施工现场模板支架复杂。



看了这个叠合板和预制梁下的支撑感觉不好



**南京一中心的教学楼采用的
预制梁和叠合板、现浇柱，
其模板支架采用扣件钢管，感
觉与现浇结构施工相同。**





看完这个学校预制梁板楼面的扣件钢管支架的支撑体系对装配式建筑的推广产生了疑问

东南大学土木工程施工研究所



龙信建设在南通市政府16层装配式办公兼停车楼采用大间距盘扣式钢管支架。



现有装配式混凝土框架结构体系应用在学校、人才公寓等工程施工现场，预制构件制作效率低，现场支撑用量大，施工人员仍然不少。**期望很大，现实残酷。**

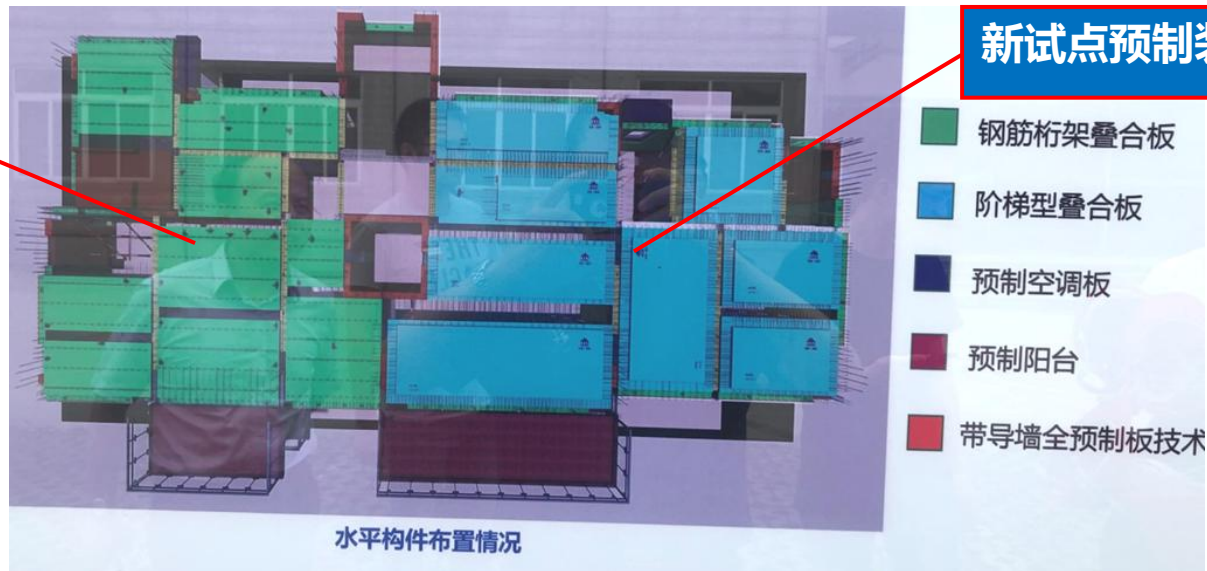


2.3 探索装配式建筑推广应用新思路

抓手之一：装配式混凝土剪力墙结构体系推进高预制率试点

常规预制装配区

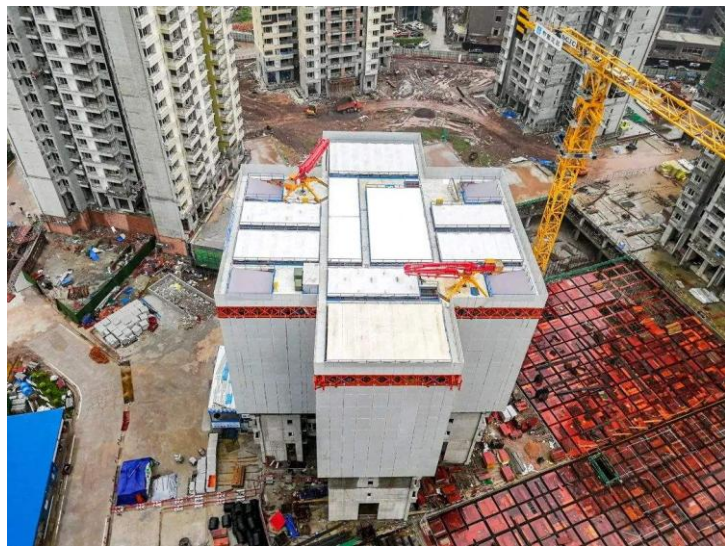
新试点预制装配区



东南大学与中南建筑产业集团公司2020年初再度联手合作开展大开间大预制率装配式混凝土剪力墙住宅体系技术研究和试点应用

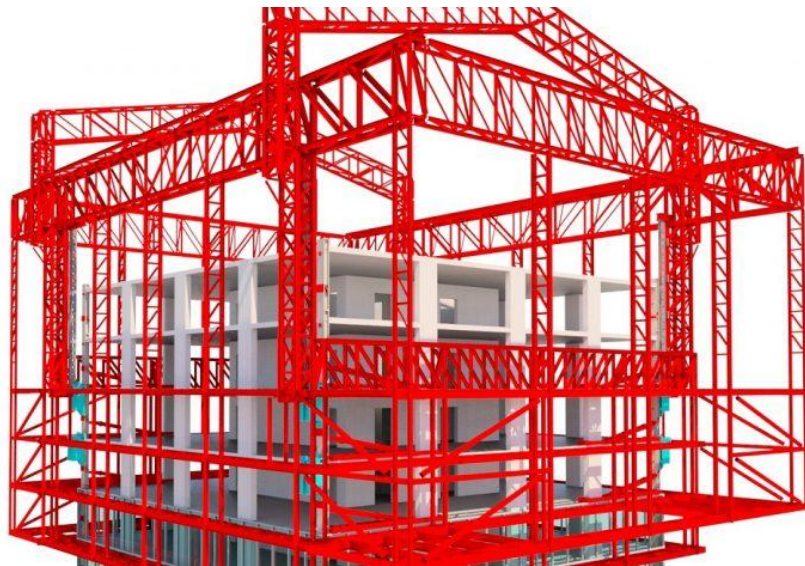


新思路：预制剪力墙板新的基于金属波纹管的连接技术后提高预制率、全预制楼板、新预制楼板下高效支撑技术。通过高预制率来解决当前少预制多现浇混合施工的痛病，为实现利用智能化预制构件安装机器人打开通道。



中建三局重庆公司的现浇剪力墙住宅的造楼机

新思路：全预制装配式剪力墙结构+ The Jump Factory



英国MACE公司的预制宽扁柱和双板墙组合的爬升工厂

新思路：全预制装配式剪力墙结构 + The Jump Factory

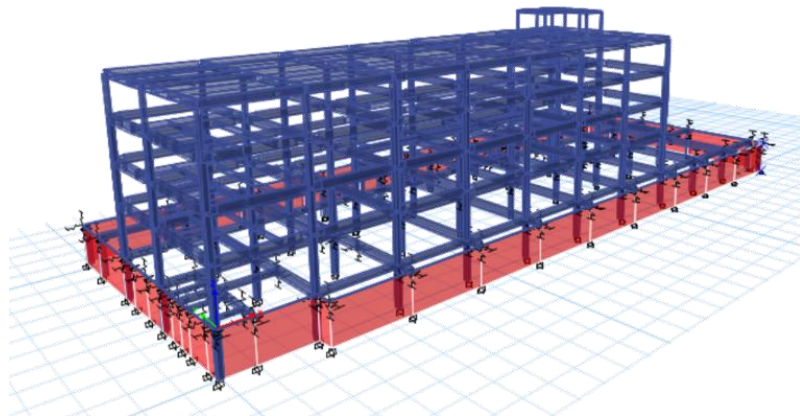


英国MACE公司的预制宽扁柱和双板墙组合的爬升工厂

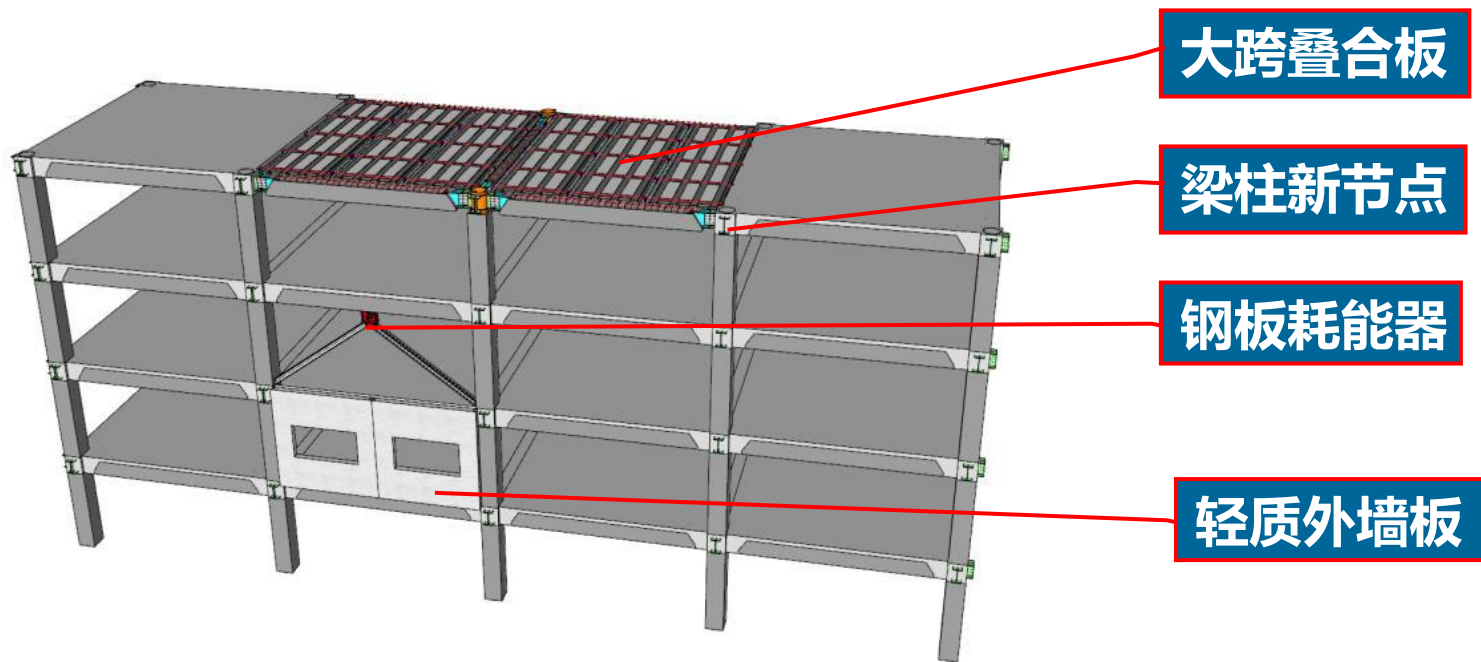
新思路：全预制装配式剪力墙结构 + The Jump Factory



抓手之二：装配式混凝土框架结构体系推进组合结构体系试点

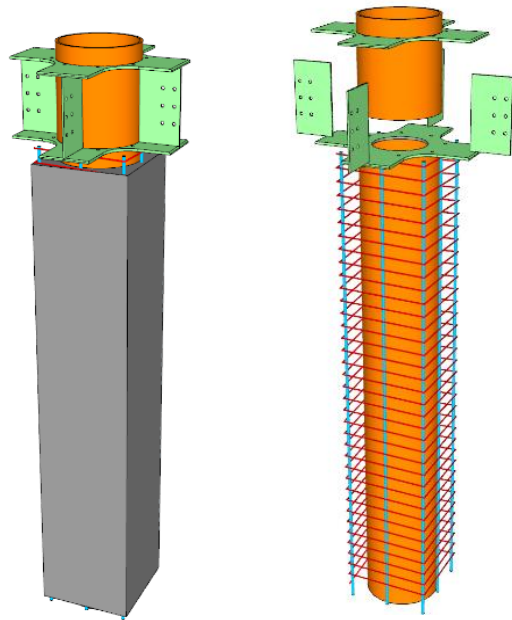
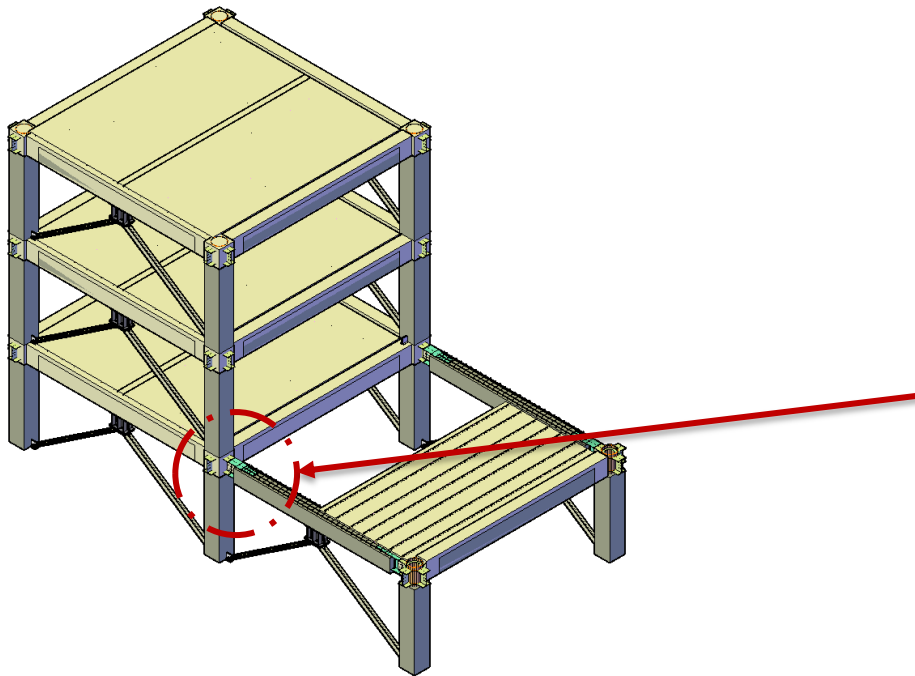


东南大学与中亿丰建设集团合作推进应用高预制装配率的装配式组合框架结构新体系。



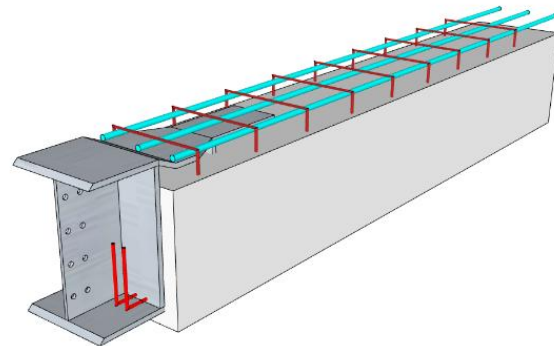
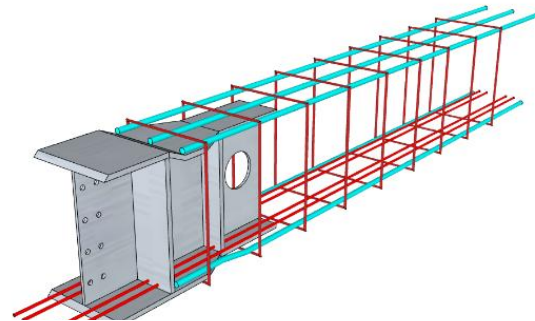
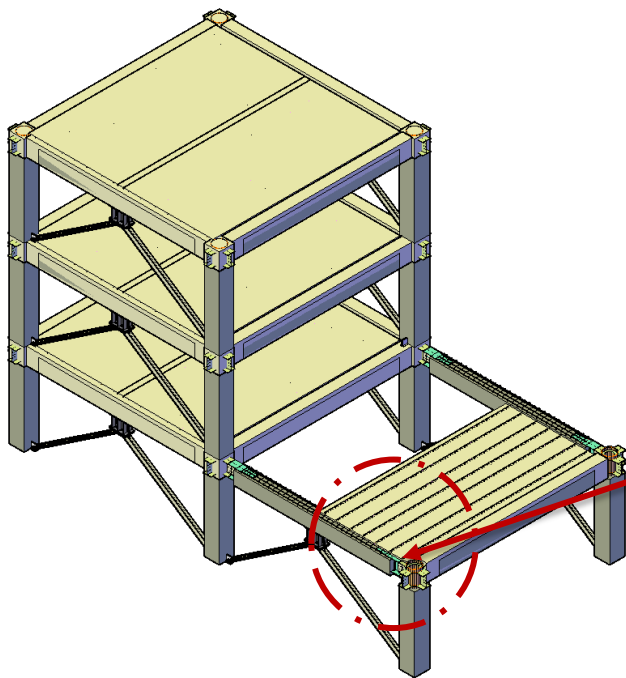


■ 外包砼钢管混凝土组合柱



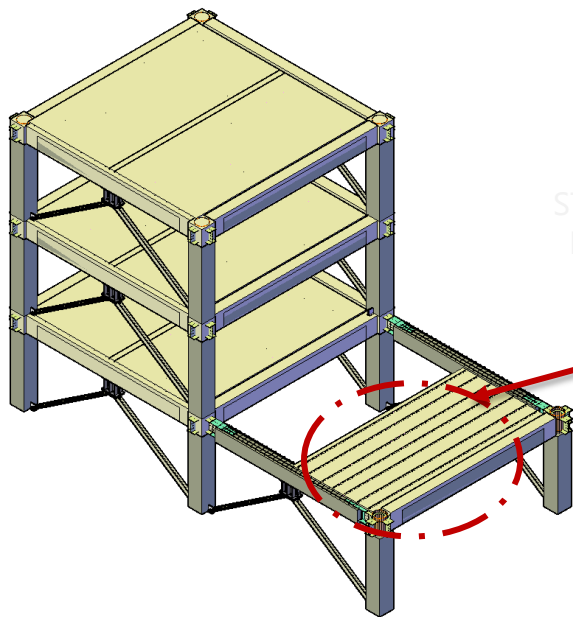


■ 型钢接头预制预应力叠合梁

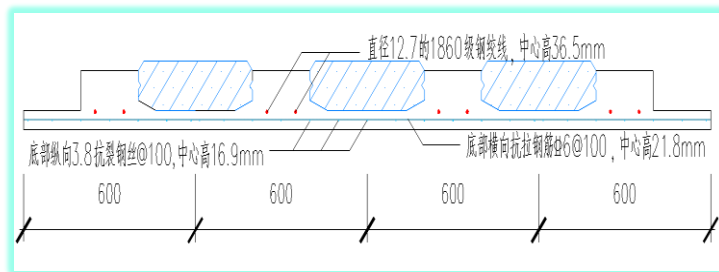
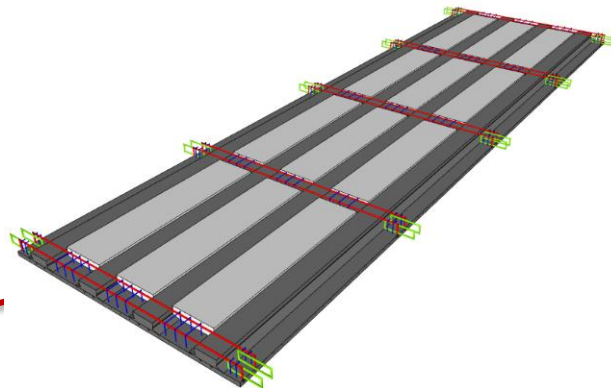




■ 大跨填芯预制预应力双向叠合板



STEP





像钢框架结构一样装配快捷和质量可靠，现场梁柱全螺栓连接或栓焊连接，上下节组合柱钢管焊接连接；

像预应力混凝土梁一样具有高效的预制生产效率及节省钢材和减小截面的良好经济指标，并兼有防火性能及外观表现。



思路决定出路

东南大学土木工程施工研究所