

优科尚品 5G 全连接工厂测试床

引言/导读

在装配式部品部件工业领域，现有设备、产品、DCS、MES、MOM系统无法真正联动，而且厂区内还存在多种网络应用，急需一种多网融合、无线互通的解决方法。因此进行装配式部品部件领域全连接技术应用研究，独立建设5G专网，打通控制网络，采用5G全连接系统架构的设计，通过无线RFID技术与5G网络配合，测试验证生产进程统计、产品流程追溯等场景，搭建更先进的工业视觉应用，开辟装配式部品部件领域全要素泛在互联、人机深度交互、智能引领变革的新征程。

关键词

5G全连接工厂

测试床项目承接主体

发起公司和主要联系人联系方式

山东优科尚品节能科技有限公司

文凯 电话：15001364378 电子邮箱：Wenkai@pcbmi.com

测试床项目目标

在装配式部品部件工业领域，由于生产工艺离散性强，移动换轨设备多，自动化程度低，设备系统之间相互脱节，大部分依靠人工独立操作，缺少关键的连

接桥梁，现有设备、产品、DCS、MES、MOM系统无法真正联动，而且厂区内还存在多种网络应用，包括办公、安防监控等，相互隔离，数据孤岛化严重，利用传统的无线WIFI组网方案，其抗干扰能力差、带宽低、延时丢包、施工成本高，无法满足大容量工业化生产要求，急需一种多网融合、无线互通的解决方法。因此进行装配式部品部件领域全连接技术应用研究，开辟装配式部品部件领域全要素泛在互联、人机深度交互、智能引领变革的新征程。

建设目标包括：

- 1) 独立建设5G专网，接入、传输均进行机密性和完整性保护，保证企业数据的安全性和专用性。
- 2) 打通控制网络，解决设备与设备，点对点之间的桥梁问题，采用5G全连接系统架构的设计，要求既能够适应新厂建设，也能适应老厂改造，实现PLC对PLC、PLC对I/O之间5G直连，保证ms级低时延数据通信；温度、压力、振动、料位、液位、位置等分散的传感器信号通过无线收集、汇总及上传，在厂区范围内可任意部署传感器/智能终端，无需部署光缆、信号电缆和电缆桥架等，节约通信设备/施工方面的投资，同时可以做到工艺快速扩展。
- 3) 通过无线RFID技术与5G网络配合实现生产进程统计、产品流程追溯，减少生产人员数量，将纸质工单转向电子工单，避免大量手写工单，提升无纸化生产，提升工人工作效率；
- 4) 搭建更先进的工业视觉应用，工业相机/工业摄像机实现场图像或视频采集，即可使用现有工厂的视频探头，也可以安装专用的工业视觉相机，由5G网络提供高速上行通道，图像识别应用部署在边缘云，根据确定的训练模型，对采集图像进行推理预测、实现产品质量检测或生产/员工安全监测。

测试床方案架构

测试床应用场景

已应用的 5G+工业互 联网典型 应用场景	研发设计类： ☐ 协同研发设计 生产制造类： ☐ 远程设备操控 ☐ 柔性生产制造 检测和监测类： ☐ 机器视觉质检 ☐ 设备预测维护 物流运输类： ☐ 厂区智能物流 服务管理类： ☐ 生产过程溯源 其他： ☐ 无	☐ 生产单元模拟 ☐ 设备协同作业 ☐ 现场辅助装配 ☐ 工艺合规校验 ☐ 无人智能巡检 ☐ 厂区智能理货 ☐ 生产能效管控	☐ 精准动态作业 ☐ 虚拟现场服务 ☐ 设备故障诊断 ☐ 生产现场监测 ☐ 全域物流监测 ☐ 企业协同合作
拟建设的 5G+工业互 联网典型 应用场景	研发设计类： ☐ 协同研发设计 生产制造类： ☒ 远程设备操控 ☐ 柔性生产制造 检测和监测类： ☒ 机器视觉质检 ☐ 设备预测维护 物流运输类： ☒ 厂区智能物流 服务管理类： ☒ 生产过程溯源 其他：	☐ 生产单元模拟 ☐ 设备协同作业 ☐ 现场辅助装配 ☐ 工艺合规校验 ☐ 无人智能巡检 ☐ 厂区智能理货 ☐ 生产能效管控	☐ 精准动态作业 ☐ 虚拟现场服务 ☐ 设备故障诊断 ☒ 生产现场监测 ☐ 全域物流监测 ☐ 企业协同合作

测试床架构

5G 全连接工厂建设总体架构



总体建设方案分为三个部分：

1. 工业现场网络：利用 5G 基站及 5G 核心网构建现场网络，实现产线级别的人、机、料、法、环、测等生产要素 5G 全连接。结合基于现有生产控制系统的 5G 网络管理系统，可实现以下能力：

- 1) 5G网络完全覆盖工厂内的生产作业区域；
- 2) 5G网络保证业务处理能力满足业务高峰期需要；
- 3) 5G网络保证各种业务对网络的性能需求；
- 4) 5G网络保证5G终端在网络覆盖范围内移动时保持业务连续性；
- 5) 5G网络保证敏感数据不出厂区；
- 6) 5G网络保证通信过程中的安全性；
- 7) 面向现场OT运维工程师提供易于操作的图形化维护界面。

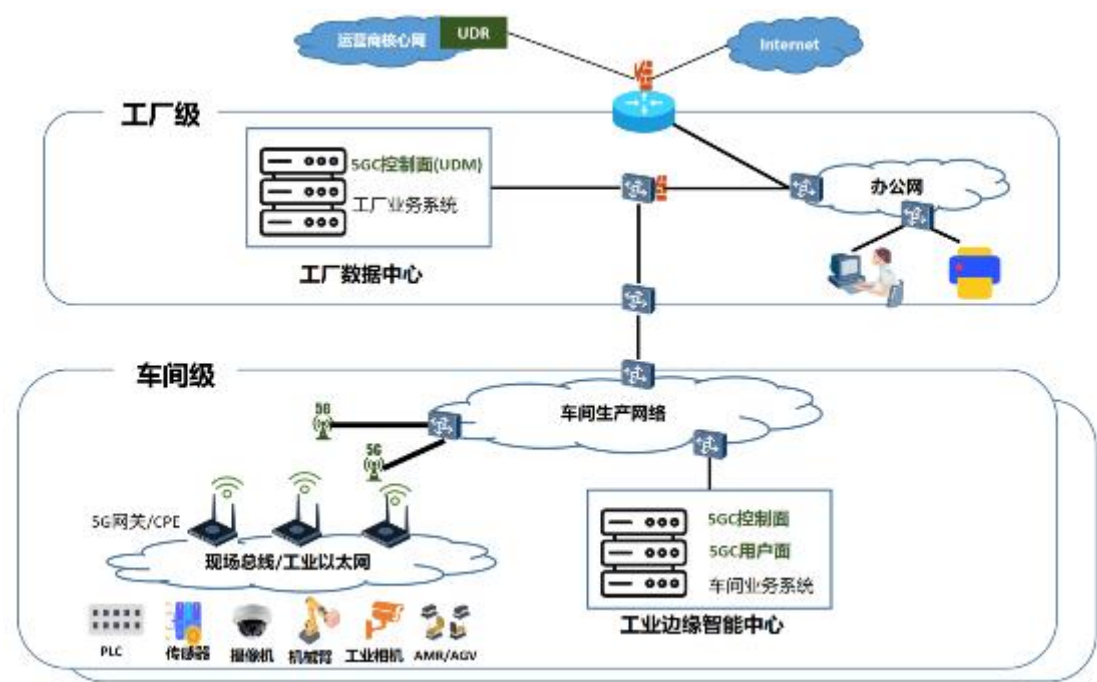
2. 现场设备联网：在产线的各个智能生产设备（例如，布料机、作业机械手、传自动运输车及摄像机、工业相机、RFID 标签/读写器等各类传感器）上加装 5G 工业网关，使得上述设备可通过现场 5G 网络接入生产控制系统。

3. 工业边缘智能中心：以边缘计算平台为基座，提供虚拟化算力，支撑 5G 核心网系统、数据处理组件、AI 处理组件及其他工业应用组件的部署运行。边缘智能中心基于超融合架构的微型数据中心构建，支持虚拟机及容器混合算力部署，同时支撑传统工控软件及新兴的工业 AIoT 软件运行。该平台内置的 5G 核心网系统，提供了本地化 的 5G 网络接入能力，可快速构建基于

5G 的 OICT 融合方案。

测试床方案

工厂网络建设方案及网络拓扑



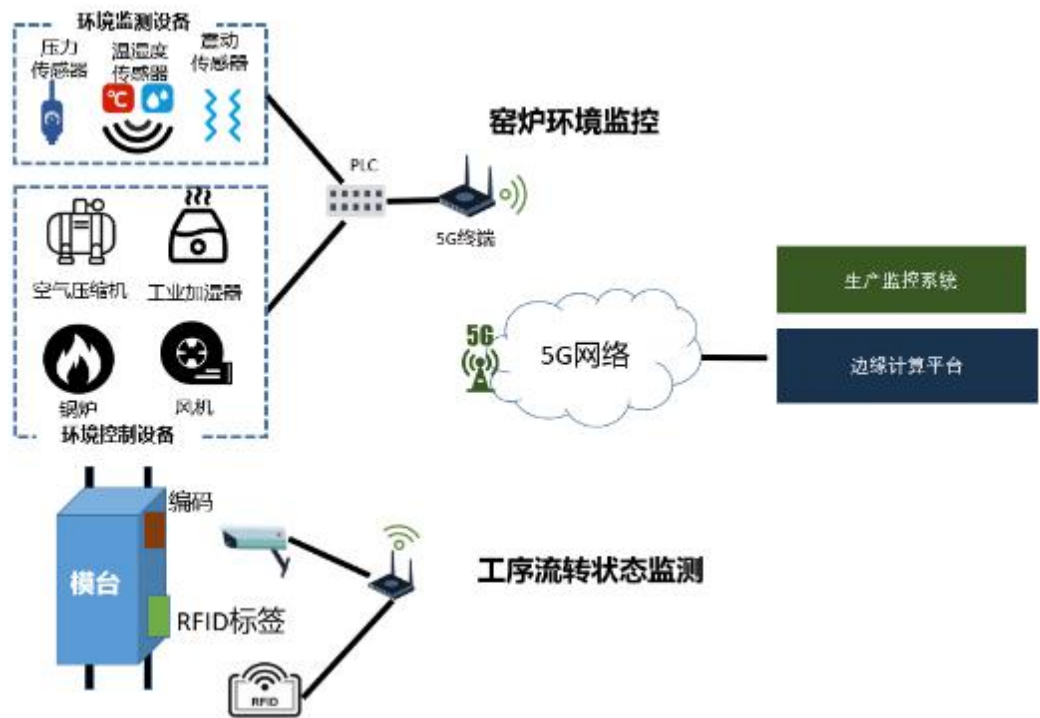
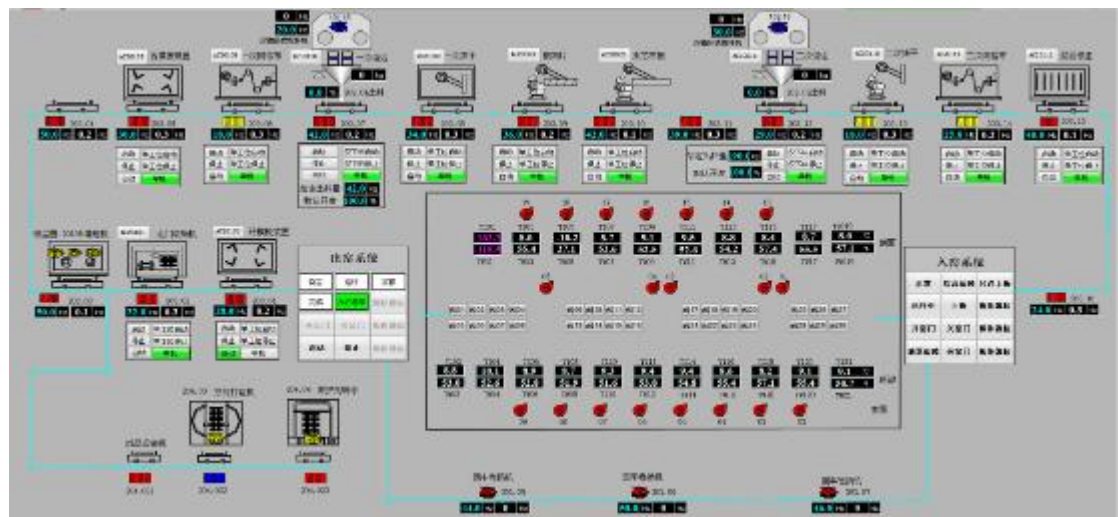
在车间部署5G基站及工业边缘智能中心，其中工业边缘智能中心内置了5G核心网。车间内的工业设备保持原有接口不变，通过加装的5G工业网关接入5G网络。5G基站通过专门铺设的光电复合缆接入工业边缘智能中心，与5G核心网相连。工业边缘智能中心通过ToR交换机接入车间生产网络。

在工厂数据中心部署5G核心网控制面网元UDM，企业层及管理层业务软件（例如，ERP及MES等），通过边界交换机和车间生产网络及企业办公网实现互通。办公网通过网关路由器接入互联网。在网关路由器及各个边界交换机上配置防火墙，防止非法访问和恶意攻击。

5G网络的UDR位于电信运营商的核心网中，保存用户的开户信息。

工厂内业务系统建设方案及数据情况

1. 生产过程实时监控



1) 工序流转监测

在模台的边侧布置RFID电子标签，在每个工位布置RFID标签读写器。RFID标

签读写器通过5G终端设备接入5G网络。当模台流转 to 相应工位时，RFID标签读写器读取到标签ID，通过5G网络上报给上位机，进而通知给MES，使得MES掌握特定产品在生产流程中的位置。RFID标签读写器每次产生的数据为64字节。

对于养护窑温度较高的产线，RFID电子标签有可能不能承受对应的高温，会导致标签失效。这种情况可以在模台的边侧喷涂编码，在每个工位布置摄像机，摄像机通过5G终端设备接入5G网络，和部署在边缘计算平台上的编码识别应用通信。当模台流转 to 相应工位时，摄像机捕获编码图像通过5G网络发送给编码识别应用，编码识别应用通过图像识别算法识别出编码值，然后将编码值上报给MES。在产线各工位附近布设摄像机，并通过加装的5G工业网关接入5G网络，将实时视频流传输至部署在工业边缘智能中心上的AI处理组件。为实现关键工位的无死角监控，可针对该工位部署多个摄像机，并将这些摄像机接入一个5G工业网关。摄像机拍摄的分辨率为1080p，帧率为10帧/秒，经过H.265编码后的码流速率约为2Mbps。在现场共部署了18台摄像机。

当模台流转 to 对应工位时，摄像机将拍摄的图像通过5G网络发送至AI处理组件，由该组件利用图像识别算法识别出模台编号，并将识别结果连同摄像机编号送入数据处理组件生成工序作业记录。现场OT运维工程师可从数据处理组件通过可视化方式实时读取工序作业记录，实现工序流转状态的实时监测。

2) 窑炉环境监控

为保持养护窑内的温湿度恒定，在养护装置中安装一定数量的环境监测传感器（如温度传感器和湿度传感器）和环境控制设备（如风机、工业加湿器、天然气锅炉、空气压缩机等）。环境监测传感器和环境控制设备连接到PLC。加装5G工业网关，将PLC通过5G网络接入工业边缘智能中心。

环境监测传感器采集的数据首先通过5G网络送入数据处理组件，经过数据清洗及加工后，再由生产监控软件从数据处理组件处读取。生产监控软件根据环境监测数据及事先设定的控制规则，向PLC发送环境控制指令，驱动环境控制设备完成相应的控制动作。生产监控系统软件每秒钟从PLC读取一次数据，数据量为240字节。

2. 生产设备控制

部署在工业边缘智能中心里的生产控制软件通过5G网络实现对生产设备的控制。可通过5G网络实现控制的生成设备包括模具布置装置、钢筋网片安装装置、布料装置、脱模&起吊装置、成品转运装置等。针对上述装置的生产控制指令的端到端延迟须在20毫秒以内，网络丢包率要小于 10^{-4} 。

在模具布置环节及布料环节，需要对装置加工结果进行实时检测，从而判断加工是否合格。因此，在模具布置装置及布料装置处分别加装了高分辨率工业相机对加工结果进行拍摄，并在工业相机处加装5G工业网关，将拍摄结果通过5G网络送入工业边缘智能中心内的AI处理组件进行识别分析。AI处理组件将识别结果送入数据处理组件，并由生产控制软件读取。如果模具布置和布料结果满足工艺要求，则生产控制软件通知相应装置将产品送入下一道工序，反之，生产控制软件向相应装置发出控制指令，进行二次加工。需要根据板材的尺寸在工位上方

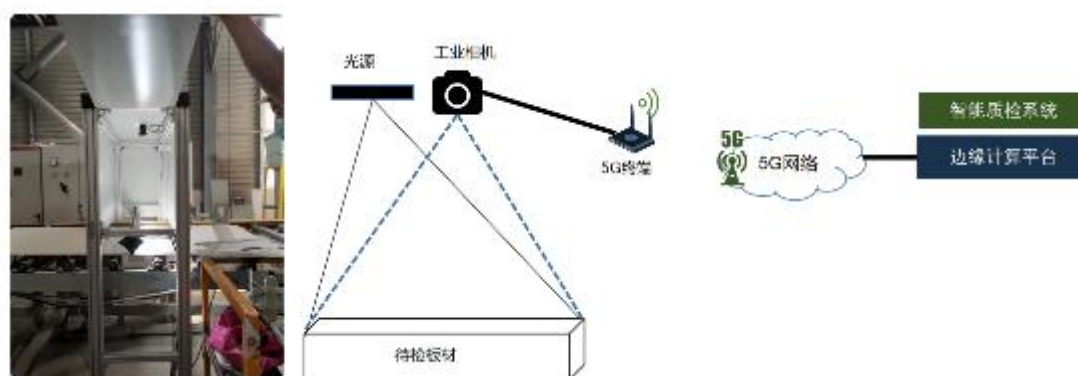


部署2~4个双目工业相机。

3. 产品质量检测

在产线最后的产品完成环节，需要对产品质量进行检测。对于符合质量要求的产品，由物流车辆从产线转运至库房，对于不合规产品，由物流车辆转运至废料处理区。上述产品质量检测过程由基于工业相机的智能质检系统完成，其中工业相机及物流车辆加装了5G工业网关，可通过5G网络与工业边缘智能中心内的AI处理组件及车辆调度系统进行信息交互。该系统首先通过工业相机对产品进行图像采集，AI处理组件可对产品外观缺陷进行检测，包括露筋、孔洞、蜂窝、麻面、裂缝、缺棱掉角等。AI处理组件将识别结果送入数据处理组件，并由物流车辆控

制系统从数据处理组件读取识别结果，并根据识别结果向物流车辆发出调度指令。



该系统在检测工位正上方部署一个8K线阵工业相机用于获取产品整体图像。对每个待检板材，8K线阵工业相机拍摄一张图片，尺寸约为100M字节。图片拍摄完成后需要在500毫秒内完成向智能质检系统软件的传输。

4. 安全生产监控





由于生成现场具有业务连续性强、系统复杂，大量生产设备相互联系、耦合紧密，而且具有功率大、运转速度高的特点。为了保证现场作业人员的人身安全及机器设备免受损坏，需对现场作业环境进行安全生产监控，实现自动发现问题及主动预警。

5. 工人作业安全监控

通过摄像机对指定作业区域进行监控，利用AI处理组件识别工人不安全和不规范的行为，包括着装不规范、行为不规范、违规进入限制区域、其他危及生产安全的不规范行为等。AI处理组件将识别结果送入数据处理组件，并由生产安全预警系统读取判断后，再做出相应的安全管控行为（例如，扬声器告警）。在车间内部署20个摄像头，覆盖整个车间。

6. 重点工序安全生产监控

通过摄像机对指定作业区域进行监控，利用AI处理组件识别模具车、摆渡车、窑车发生撞车和脱轨等现象。AI处理组件将识别结果送入数据处理组件，并由生产安全预警系统读取判断后，再做出相应的安全管控行为（例如，向生产设备发出停机指令）。车间内每个产线的重点工序有5个，共需部署10个摄像头。

综上，在车间内共需部署30个监控摄像头，单个摄像头采用1080p分辨率、30帧频、H. 265编码后的码率为6Mbps。

方案自主研发性、创新性及先进性

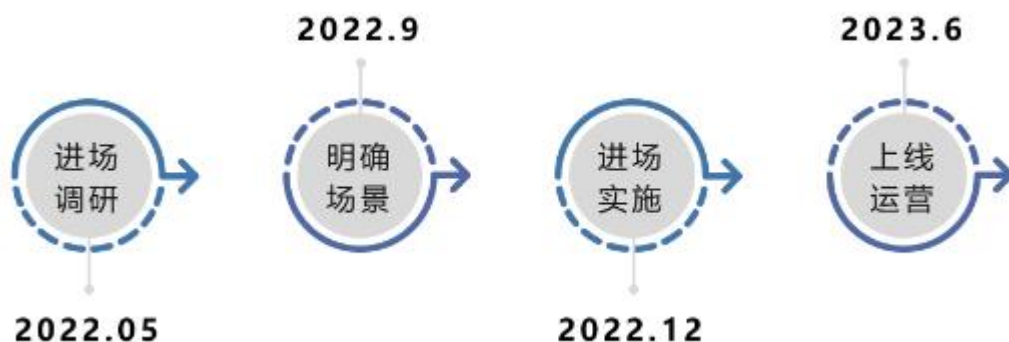
本测试床为企业提供独立建设的5G专网，接入、传输均进行机密性和完整性保护，保证企业数据的安全性和专用性。利用5G网络连接工厂内的生产设备，满足设备通信所需的大带宽、低延迟等各种应用场景。采用无线PLC技术，相比有线PLC安装工时减少70%以上，通信线缆减少90%以上。轻量化的5G核心网支持5G局域网特性，设备间的通信通过核心网用户面功能直接转发、进一步降低通信时延。

本测试床边缘计算平台采用微服务架构，构建面向工业场景的通用PaaS平台及aPaaS组件库，通过提供低代码支持能力，使工业应用开发者只需少量代码即可构建个性化工业应用；平台进行软硬件联合优化，满足工业环境严苛的性能要求。

采用人工智能技术和边缘计算平台的强大算力构建各种工业智能应用，包括工业控制，AGV自动导航控制，基于机器视觉的质量检测、安全生产监测等。

5G、边缘计算、人工智能是新一代基础设施的代表性技术，将这些技术和装配式建材制造领域相结合，将充分体现该测试床的先进性，同时对于推动建材制造领域工业互联网的实施以及智能化制造的转型也有着积极的意义。

测试床实施部署



测试床实施规划

测试床实施的技术支撑及保障措施

1. 选择 5G+工业互联网经验丰富的解决方案提供商

解决方案提供商深圳艾灵网络有限公司依托自身在5G专网和云计算领域的技术实力，聚焦工业领域，已经向多家行业头部企业提供了基于场景应用的5G边缘智能解决方案，覆盖建材、媒体、能源、仓储、3C、汽车制造等领，其丰富的行业经验将助力项目的成功。

2. 主要领导牵头成立项目组

联合解决方案提供商成立项目组，企业侧由总工牵头任组长，负责所有技术问题的决策和厂房、产线、设备、机房等实施环境及人员的投入保障；解决方案提供商侧由副总裁牵头任副组长，负责保障按计划完成场景、需求、设计文档的开发和施工交付。

3. 充分进行需求调研

对项目需求理解的偏差，将使项目的实施产生不确定性，对项目的成功造成威胁。针对此风险，解决方案提供商在项目初期驻场进行深入的调研，深刻理解应用场景，和企业一同确定需求，将问题和风险消除在萌芽阶段。

4. 通过周例会制度及时沟通

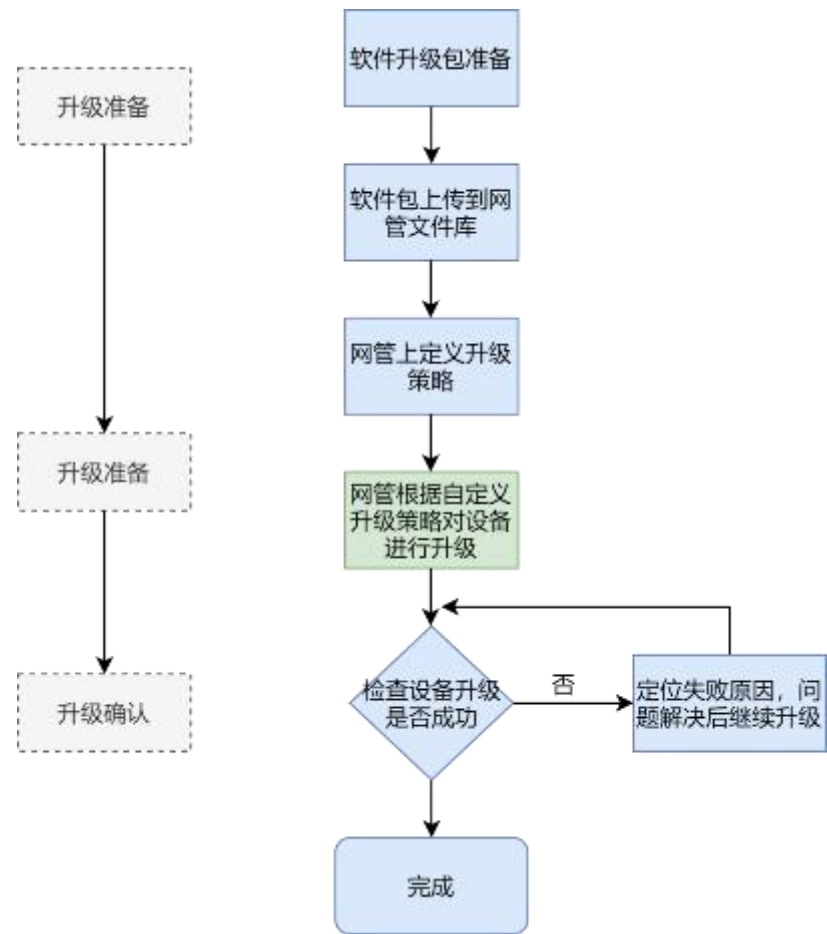
在整个项目实施过程中，项目组成员每周召开例会，就项目进展和各种技术问题进行讨论，对理解有差异之处及时纠偏，保证项目的顺利进行。

5. 运维保障

艾灵网络针对该测试床成立专门的运维小组，建立总部、区域分公司、属地合作伙伴三级联动响应体系，提供包括软件升级及硬件修复在内的运维服务。

➤ 设备软件升级：

根据现场业务验证需要，对设备软件定期进行版本更新。在现场实施前，在实验室环境先进行预测试及软件版本修正完善，待稳定性验证通过后，再由运维小组进行设备更新升级。软件升级流程如下：



如软件升级过程中出现异常、升级后无法达到预期或产生其它负面影响，可回退至升级前版本，确保系统正常运行。在异常问题排查处理完成后，进行二次升级，并在升级成功后，输出软件升级异常分析报告。

➤ 设备硬件修复

通过设立备品备件库应对设备硬件修复问题，对于出现故障的硬件设备，直接提取相应备品备件进行替换。备品备件库的相关管理措施如下：

- 专人管理：备品备件库设专人进行管理，并制定完善的管理制度。
- 分区存放：备品备件按类型分区存放，确保维护人员能迅速领到所需材料维护效率。
- 物料补充：定期对备品备件进行检查，当发现其低于安全库存时，采取措施及时补充。

➤ 系统版本管理

运维小组将建立完善的软硬件版本管理库，对软硬件版本及所更新的内容进行归档和管理，并及时共享软硬件版本升级信息。

➤ 故障处理

故障处理流程如下：



支持多种形式的渠道（电话、微信、邮件和售后技术服务工单系统）接收故障申报，根据问题性质及等级提供不同程度的响应。

如出现一般问题（例如：一般技术咨询或非实时业务影响的问题），提供远程技术支持服务，在收到问题请求2个小时内安排相关技术人员对口支持，提供端到端方案。

如出现高优先级问题（例如：单站无法工作或单站业务异常等问题），提供远程技术支持服务，在收到问题请求8个小时内安排相关技术人员对口支持，提供问题恢复的技术建议，对于软件或硬件造成的问题，及时安排研发及专家团队介入，提供综合技术解决方案。

如出现紧急技术问题，专业技术人员将在1小时内远程接入系统进行处理。如需进行现场处理，驻地技术工程师将在收到通知后的2小时内赶到现场，并在收到通知后的6小时内修复故障，在收到通知后的48小时内完成故障修复，并向形成书面报告。

测试床预期成果

测试床的预期可量化实施结果

当前的产线每个工序每个班次至少安排1-2个工人，蓬莱工厂按照2个班次，共需32个熟练的工人，每年的人工成本可达300余万元。

成品构件检测每日平均需求300-400件，峰值600件，目前只能通过人工肉眼来实现判断。目前视觉判断工序需由熟练操作的工人付出至少2人每班的人力。每年成本80万元。

产线成品出货区需要安排工人值守，防止成品在滑轨上堆积造成事故，每班需要1个人力，按照每天2个班次，每年成本约40万元。

窑炉的出入窑区域需要安排工人值守，防止窑车碰撞造成事故，每班需要1个人力，按照每天2个班次，每年成本约40万元。

当前需要安全员定期巡检，检查生产现场的工人是否遵循安全规章。每班需要1个人力，按照每天2个班次，每年成本约40万元。

通过测试床的实施，初期可以为工厂每年至少节省200余万元的成本。后续全面推广实施后，建设无人化工厂，每年可以节省400余万元的成本。

通过该测试床的实施，将实现50%生产要素的5G连接。

测试床的商业价值、经济效益

本测试床形成的成果，将5G、边缘计算、人工智能等技术应用于部品部件的全流程生产过程，帮助企业实现自动化、智能化的生产线，最终提高生产效率、

提升企业竞争力。预计企业总体成本可节省50%、总体效率提升40%、生产安全事故和安全违规事件降低90%。

测试床的社会价值

2020年9月工信部印发《建材工业智能制造数字转型行动计划（2021-2023年）》，要求推进建材工业与信息技术协同创新共同进步，鼓励企业积极探索“5G+工业互联网”，促进工业互联网与建材工业深度融合，引导企业利用5G通信高带宽、低时延、大连接等技术优势，实现互联互通，推进人工智能在建材行业的应用。

2020年12月印发的工业互联网创新发展行动计划（2021-2023年）支持工业企业综合运用5G、时间敏感网络（TSN）、边缘计算等技术，提升生产各环节网络化水平。

本测试床提供的装配式建材生产的行业解决方案，将夯实企业信息化基础，提升智能制造关键技术创新能力，引领企业迈向高质量发展；将推动5G、边缘计算、人工智能等新技术在部品部件生产企业的应用，促进企业的数字化和智能化转型；将提升企业的自动化水平，提高生产效率和水平；用智能应用代替人工操作，减少了人工成本，为提升市场竞争力提供有力的支持；将构建自动化的安全生产感知、监测机制，提升企业安全生产水平。该测试床初期应用在预制混凝土墙板类构件生产工厂，在技术成熟后可以推广至其他装配式建筑部品部件生产工厂，对装配式建材智能制造整体数字化水平提升具有很大的意义。

测试床成果验证

测试床成果验证方案

1. 5G网络验证方案

- 对5G网络的连通性进行测试，输出测试报告，测试内容包括上下行传输速率、传输时延、传输抖动等性能参数。
- 将工业应用部署在边缘云，进行从设备到应用的端到端测试，输出测试报告，

测试内容包括上下行传输速率、传输时延、传输抖动等性能参数，并验证上述指标可以满足工业要求。

2. 用所支撑的业务验证方案

- 通过5G打通工业OT网络：时延低于20ms；
- 基于5G的海量传感：海量传感设备接入；
- 基于5G的工业视觉AI检测：300Mbps超级上行；
- 基于5G的工业控制：高可靠网络。

测试床成果交付

测试床成果交付件

- 测试床应用场景及需求说明书
- 5G无线接入网设备
- 5G核心网设备
- 边缘计算平台设备
- 质量检测、生产安全监测、人员安全监测等智能应用软件
- 测试床系统使用说明书
- 测试床验收报告
- 发明专利申请2个

测试床开放性

设备接入的开放性：采用5G CPE作为接入终端，后期新增设备对5G网络没有影响。

边缘计算平台的开放性：平台支持Window、Linux等主流操作系统，支持第三方工业应用的部署。

生态的开放性：为第三方工业应用开发者提供API，开发者可以调用API开发工业应用，促进IT和OT生态的融合。