

五是远程控制，实现远程锁机 / 解锁和分层锁机控制，并管理锁机流程和锁机历史记录。基于远程控制功能工程机械终端客户可以对位置异常的机器进行锁机，有效降低设备丢失的风险。

六是机群管理，实现对不同品类设备的统一管理。平台内设的信息共享功能可以让已购机用户、有设备需求用户和项目承建方等多方进行需求共享，实时发布设备使用需求或出租需求。基于机群管理功能工程机械终端客户可以对各类设备进行集中管理。在设备闲置时，将自有设备出租，按工作量 / 工时收取费用，获取可观收益。

3.7.4 当前挑战与认识

树根互联工业互联网平台基于物联网功能模块有效连接现场工程机械、制造厂商以及终端用户，提供了完整的工程机械智能后市场解决方案。一方面，面向单机工程机械提供了丰富的解决方案，涵盖了资产管理、远程监控、故障诊断、故障预测、远程控制五个方面。另一方面，面向机群工程机械提供统一资源调度管理，打造了基于数据分析的平台租赁商业模式。此外，该解决方案具有很好的推广复制价值，有望面向汽车、航天、船舶等独立的产品终端提供远程服务，尤其随着 5G 时代的来临，低延迟高可靠的无线通讯必将进一步提升平台的设备远程运维服务水平。

3.8 案例“面向家电行业的大规模个性化定制解决方案”

3.8.1 案例概述

家电行业的生产特点是品种多、批量小、产品更新迭代快，目前面临难以满足用户个性化定制需求、库存管理低下、售后和服务跟踪差、生产质量管控不达标等痛点。

为了解决上述业务痛点，海尔集团打造了工业互联网平台 COSMOPlat，不但解决了制造企业产品设计、采购、销售、生产、物流、售后服务的全生命周期管理问题，而且满足了用户个性化定制需求。

3.8.2 价值视角

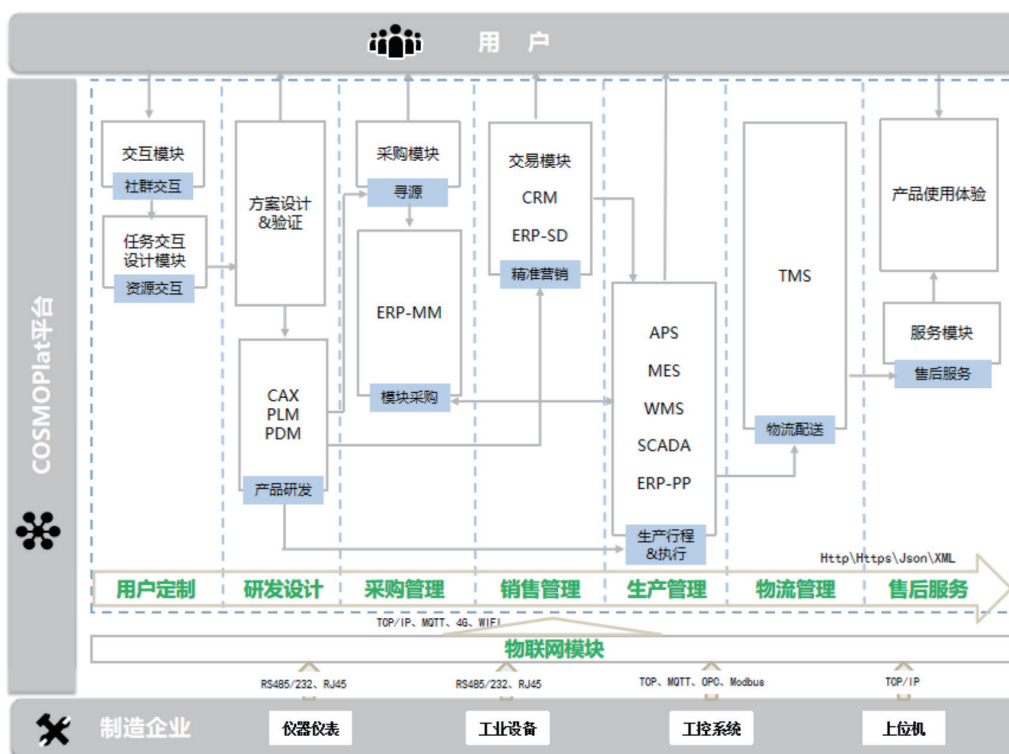


图 23：面向家电行业的大规模个性化定制解决方案案例价值链

在海尔大规模个性化定制解决方案价值链中，涵盖了工业互联网平台企业、家电制造企业和家电购买用户三方。一是面向家电购买用户，该解决方案解决了用户个性化定制的需求，提升了用户购买、使用家电的体验。二是面向家电制造企业，该解决方案提供产品设计、采购、销售、生产、物流、售后服务的全生命周期管理功能，实现了制造企业“提质、降本、增效”的追求。三是面向工业互联网平台企业，平台企业能够在为用户和制造企业提供服务的过程中持续创收。

3.8.3 功能视角

海尔 COSMOPlat 平台通过物联网模块与制造企业仪器仪表、工业设备、工控系统、上位机统一连接，经过协议转换将数据上传到云端，供用户定制、设计、采购、销售、生产、物流、服务七类业务模块应用。

具体功能如下：

一是用户定制子平台，是用户与 COSMOPlat 平台连接的第一入口，用户可以全流程参与到产品的定义，自己选择和定制各类家电机型。

二是研发设计子平台，用户确认订单后，定单流程会直达市场部门，市场人员进一步确认用户提交的信息，如果用户还有其他定制需求可以实时与之交互或在平台上添加及更改。最后，研发子平台根据需求设计后产生订单号。

三是采购管理子平台，是为供应商与制造商零距离交互而搭建的资源聚合平台，实现供应商按需设计、模块化供货。采购系统的用户需求面向全球供应商公开发布，系统能够自动精准匹配推送。

四是销售管理子平台，基于 CRM 管理以及用户社群资源，对已有用户数据进行大数据分析，构建用户画像，进行精准营销。

五是生产管理子平台，部署多类智能生产 SaaS 化应用，包括 APS、MES、SCADA、WMS 等。能够按照 ERP 下达的生产计划实现产线快速切换、设备实时监测、物料精准配送、能源高效优化等。

六是物流管理子平台，实现“产前原材料入厂供应链优化”、“产中车间物流优化”以及“产后终端配送供应链优化”，并且平台实现产前、产中、产后全供应链的打通与一体化调度。

七是售后服务子平台，解决用户对家电及时维修的需求。用户购买产品后通过该平台一键录入家电信息，建立专属家电档案并上传，完全替代传统纸质保修卡，信息永不丢失。此外，用户还能够基于售后服务子平台一键提交维保需求。

3.8.4 当前挑战与认识

海尔家电行业工业互联网平台构建了灵活的用户定制、研发设计、采购管理、销售管理、生产管理、物流管理、售后服务七类业务子模块，实现不同业务间的有效打通和协同，满足了用户个性化定制需求，提升了制造企业产品全生命周期管理水平。该平台解决方案具备极大的推广借鉴价值：一方面，有效的将生产业务和用户需求结合是平台未来发展的重要方向，打造用户能够对产品进行个性化配置的功能模块是关键所在。另一方面，将传统平台进行功能解耦，构建独立业务子平台，打造基于多类业务子平台协同工作的平台体系愈发重要。此外，海尔大规模个性化定制解决方案能够面向多品种小批量离散行业推广，目前海尔正将该解决方案由家电行业向服装行业、建陶行业、房车行业拓展，并得到了较好的应用效果。

3.9 案例“5G 智慧港口案例分析”

3.9.1 案例概述

青岛港是世界较大的综合性港口之一，占并据着东北亚港口圈的中心位置，是西太平洋重要的国际贸易枢纽。2018 年，青岛港完成操作箱量 115.4 万 TEU，港口货物吞吐量世界排名第六。青岛港本身自动化、信息化程度较高，具有向智慧港口转型的先天优势。港口竞争日益激烈，伴随着 5G 技术的到来与成熟，中国联通携手青岛港集团、振华重工集团等一起

打造了基于 5G 行业虚拟专网的智慧港口，分别在岸桥区的自动远程控制、装卸区的自动码货以及港区的车辆无人驾驶方面进行了 5G 网络下的应用验证，利用 5G 大带宽、低时延、高可靠性的特点达到了预期效果，使得港口人力成本、运维成本大幅降低，作业效率及安全性得到提升。

3.9.2 价值视角

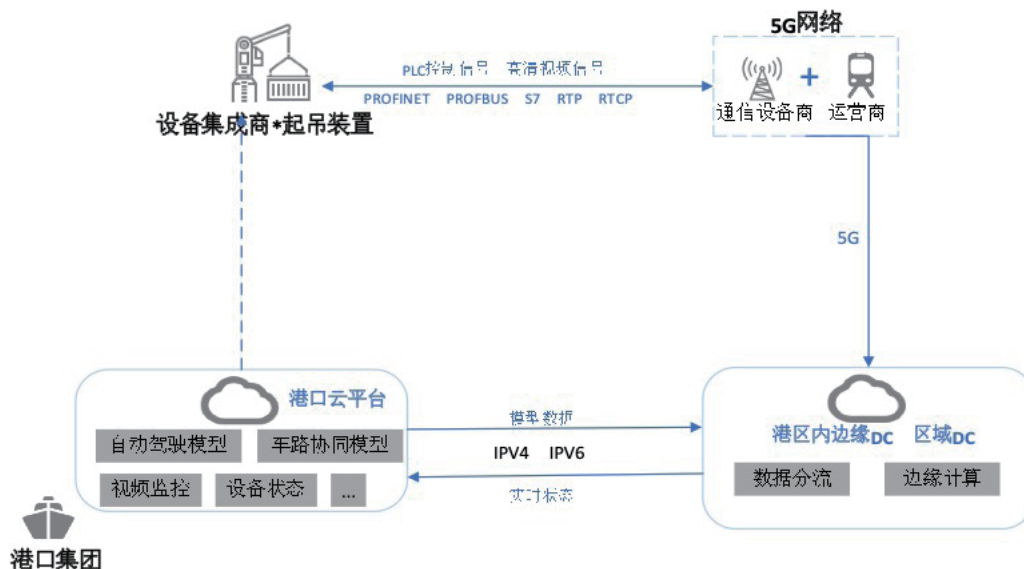


图 24：基于 5G 的智慧港口数据价值链图

起吊设备经过 5G 工业控制网关进行协议转换适配，并将控制信号通过 5G 网络传送到起吊设备的主控中心，完成对起吊设备的远程控制，取代以往起吊设备的人工现场操作。这一过程利用运营商提供的 MEC 边缘云，降低了数据的传输时延，同时也保证了港口数据的隐私及安全性。通过 MEC 边缘云处理后的各类港口数据（PLC 信号、视频信号、车辆行驶数据等）汇聚到港口本地云平台，然后港口运营工作人员通过云平台的各类数据对港口业务做出分析、判断及优化。设备集成商通过该平台能够跟踪设备的实时运行状态及运行数据。

价值主张

港口设备集成商通过港口云平台的数据能够对设备作出预测性的维护分析以及故障预判，降低了设备的宕机概率及停工时间，提高设备的使用率。港口通过基于 5G+ 工业互联网云平台的网络系统实现对起吊设备的远程操控，实现了案桥吊现场的无人操作，大幅降低了人力成本，同时作业现场的无人化操作使得安全隐患显著降低，设备的作业效率也明显提升。对于运营商而言，提供基础 5G 网络服务的同时，通过 MEC 边缘云可提供增值服务提升网络运行质量，从而获得更多收益。

收益机制

港口运营方向运营商支付 5G 网络运维服务和管理费用，向系统集成商购买或租用重型港口操作设备。

运营商向设备商向通信设备商购买基础通信设施。

系统集成商向运营商支付部分网络改造、建设和运维费用。

商业模式创新

对于港口设备集成商，商业模式的创新在于改变过去线下销售、线下售后维护的模式，通过云平台可以提前预判设备的运行状态进行预测性维护或者在线故障诊断，并且可以进行按时段或计时收费等新的、灵活的收费方式。

对于港口集团，业务运营方式由传统的线下运营方式向线上云平台转变，通过云平台的业务集中管理，对港区的各类业务运行情况掌控更及时且人工成本更低，由硬资产的消费向软资源的消费过渡，同时基于云平台业务可开拓新的盈利渠道。

对于运营商，一方面可以对接港口领域设备集成商，将 5G 港口方案集成到智慧港口整体解决方案中，收取智慧港口的建设费用，同时免费提供定量的 5G 流量、宽带的使用额度；另一方面，可对接港口集团，提供部分场景下的 5G 网络建设、支撑和维护。

3.9.3 功能视角

当前港口业务痛点

当前国内的港口码头多为传统人工码头和自动化码头，其中人工码头整体比例较大，其港口作业设备众多，自动化程度低，每一个作业设备都需要依靠工人的现场操作，作业环境复杂、效率低、危险系数高，人工成本高同时有一定的安全责任隐患；

青岛港是一个自动化信息化程度较高的自动化码头，借助有线网络可以实现部分业务的自动控制，但仍有大量场景受自身移动条件所限无法实现网络连接，所以解决当前港口面临的首要问题之一就是构建全连接的无线网络，将传统的人工操作方式转换成远程控制的方式，用无线网络作为有线网络的延伸与补充，将由信息采集扩展至生产控制，对港口运输要素实现全面感知，从而进行港口自动化调度与生产作业。

基于 5G 网络的远程控制解决方案

此前青岛港的岸边装卸区岸桥吊的远程控制是通过岸桥吊上的光电复合缆巨型转盘实现的，吊车作业过程中拖着光纤移动，光纤易被折断、磨损，因此对用无线智能化传输取代有线网络传输有着迫切的需求。

本案例针对这一痛点，利用 5G 无线传输取代了原主控 PLC 到起吊设备 PLC 之间的有线通信。通过 5G 工业控制网关实现与原有工业控制协议的适配。5G 网络低时延、高可靠性、大带宽的性能满足 PLC 控制信号的超低时延要求以及高清视频回传的带宽要求。此外，为了进一步保障控制信号与高清视频回传的实时性要求，还在港区内部署了 MEC 边缘云，通过 MEC 边缘云的分流处理一方面降低了数据传输到核心网由于传输路径较长造成的时延，另一方面也保证了港口数据的隐私及安全性。

3.9.4 当前挑战与认识

当前港口业务痛点

在本案例中，通过用 5G 无线网络的远程控制替代传统有线控制，实现作业现场的无人化操作，提升了操作灵活性和可靠性，大幅降低了人工成本，改善了工人的作业环境，显著提高了港口作业效率。在工业内网演进过程中，伴随着技术标准和设备的逐步成熟，无线替代有线是大的发展趋势，5G 核心技术在港口的应用也可以延伸至智慧工厂和智慧交通等领域的远程控制，为其带来创新与变化。

3.10 案例“用于刀具监控和寿命预测的智能管理边缘计算平台”

3.10.1 案例概述

在工业领域，针对机床刀具的预测性维护、寿命预测、实时监控是生产过程中亟需解决的痛点。

市场上目前有刀具加工计数预测法、加装传感器物理监测法等刀具监测解决方案，均存在成本高、部署慢、准确率低等弊端，并且边缘侧环境部署复杂、灵活性低，不利于大规模统一管理，整体维护、监控和升级成本高。

基于 OpenStack 技术的刀具监测与寿命预测智能管理边缘计算平台，以 CNC 机加工设备的物联为基础，对主轴负载数据进行采集与分析，可实现边缘侧刀具在加工过程中的实时状态监测和寿命预测管理以及数据信息可视化。

3.10.2 价值视角

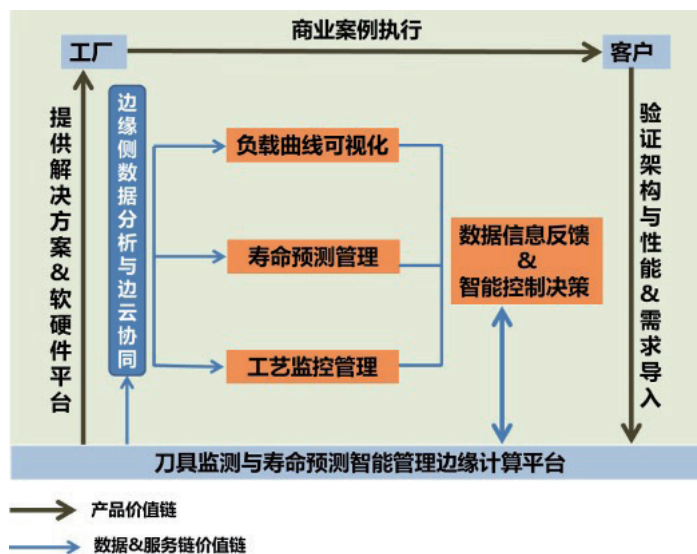


图 25：工具管理与生命预测智能管理边缘计算平台价值链

通过提供解决方案及软硬件平台收费，并利用反馈数据和信息形成数据链和价值链的生态闭环。在工厂现场部署刀具监测与寿命预测智能管理边缘计算平台，能够通过实际商业案例的执行，验证关键技术、参考架构、系统性能等，并进一步识别差距和问题点，作为关键需求导入后续优化，持续迭代改进，拓展商业应用的广度和深度。最终目标是，通过该平台能够实现边缘计算架构的真正落地，支持行业通用的测试床和商业案例部署，以行业最佳实践加速工业互联网产业发展。

3.10.3 功能视角

在该解决方案中，平台集成了运行市场上 85% 以上的不同品牌和不同类型的 CNC 系统，并且可同时监测不同类型、不同尺寸的加工刀具（车削、铣削、钻削、拉刀等），同时，在边云协同方面，边缘数据能够统一在核心云平台进行管理，可实现车间看板、PC 端、移动端的同时在线监控和索引，部署速度比传统刀具监测模式有显著提高；大幅度节约了硬件成本，能够给用户带来更好的技术体验。其具体解决方案如下：

1. 通过边缘侧负载数据收集，结合本地数据处理分析，实现实时状态监测和实时告警，边缘计算平台能够利用低时延、高可靠的优势，帮助全方位检测刀具的使用情况，准确定位异常，可降低生产过程的质量风险，提高生产效率和安全性。
2. 实现工业互联网体系下灵活快速的应用编排、交付和生命周期管理。具体实现方法是，在边缘侧配备物理资源提供计算、存储、网络等功能，在此基础上，依托九州云 Animbus 边缘计算套件，提供边缘侧虚拟化资源与能力，从而大幅提高边缘侧部署效率，降低管理难度，为大规模部署提供更灵敏的解决方案。
3. 收集现场边缘侧海量不同刀具的使用数据，上传至边缘云后进行大数据处理和分析并输出预判结果，将相关结果下发给边缘侧的实时信息化展示与报表分析系统，可有效提高刀片寿命预测的准确性，提高风险预处理能力。

3.10.4 当前挑战与认识

刀具监测与寿命预测智能管理边缘计算平台能够连接市场上大多数的刀具类型，通过高效、全面挖掘数据价值，发挥数据对于资源管理和生产决策的重要指导作用，为企业从根本上提升刀具的管理品质和刀具使用效率，实现成本精确核算提供了卓越的解决方案，并且其实时状态监测和寿命预测管理系统为推动制造业升级树立了可推广的示范。

3.11 案例“标识 + 平台实现产品追溯与全生命周期管理”

3.11.1 案例概述

中国已成为全球最主要的线缆市场和全球最大的线缆制造国，但目前行业存在生产设备标识不统一导致管理混乱、供应链管理效率低、网络化协同制造能力不足等痛点。因此需要借助标识解析服务体系，赋予设备、产品、工艺等生产要素唯一的工业互联网标识，打破多元异构数据产生的壁垒，将成品和原材料、生产过程的信息关联，加强产业链上下游企业的协同制造。

中天科技作为线缆行业领军企业之一，依托工业互联网标识解析体系，建设线缆行业标识解析二级节点服务平台，面向线缆行业的企业提供标识注册和解析服务，并依托标识解析服务，集成设备云平台、产品质量追溯系统、生产制造协同平台，实现采购物流、设备管理、运行监控、维保维修、质量追溯、供应链协同、数据共享等全生命周期的管理，为线缆行业企业提供安全、高效、低门槛的可持续发展服务。

3.11.2 价值视角

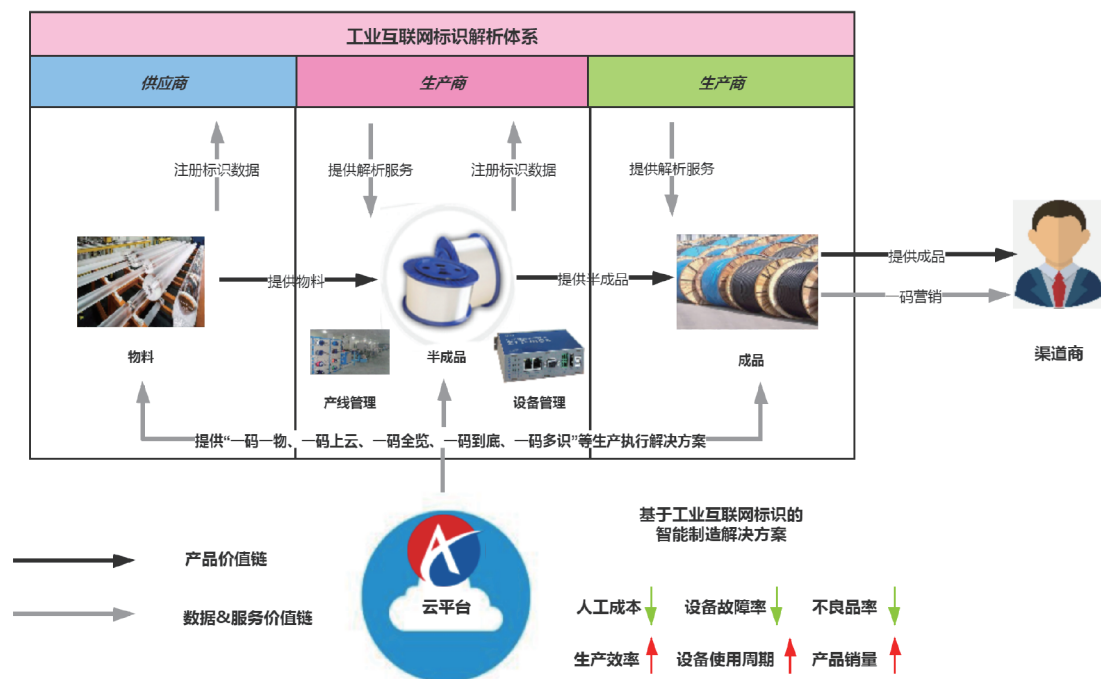


图 26：工业互联网标识符解析系统价值链

基于标识解析的解决方案构建的价值链中，包括了线缆行业产业链上下游的多家制造商以及标识解析服务提供商等多个参与方。对于线缆行业生产企业，可利用标识解析服务及基于标识解析的一码上云的设备云平台、一码全览的智慧可信质量追溯等服务，延长设备使用周期、提高管理效率、降低设备故障率、降低维保费用及人工成本，从而实现企业综合成本降低。对于中天科技来说，由单一的线缆制造企业转型为“线缆制造商 + 标识解析服务提供商”，既可以利用标识解析，优化企业内部的生​​产流程，从而实现降本增效；又可以作为标识解析二级节点服务平台建设运营企业，为其他的中小企业提供标识解析及其他增值服务，为企业创造收益。

3.11.3 功能视角

基于标识解析二级节点服务平台，中天科技打造了五大核心应用，即“一码一物，扫码解析”，“一码上云，设备先行”，“一码全览，追根溯源”，“一码到底，协同制造”和“一码多识，分权管控”。

1) 一码一物，扫码解析

利用工业互联网标识体系一码一物的特点和智能分布式标识系统 IDIS 的递归解析功能，可实现对工业互联网标识对象及其属性的解析工作，具有终端丰富和显示全面的优势，是服务平台核心基础应用。

2) 一码上云，设备先行

设备云平台管理能有效解决制造企业在设备管理环节中出现的设备管理问题。设备云平台基于工业互联网标识解析二级节点，借助二维码、RFID 等终端扫码技术实现全生命周期的设备管理。所有接入平台的设备均需在标识解析二级节点中注册，被赋予了唯一的工业互联网标识编码，通过标识解析获取设备信息并完成云平台的各项功能。基于工业互联网标识解析二级节点的设备云平台管理可实现设备管理信息化，无纸化，模块化，有效改进管理模式，提高生产效率。

设备云平台管理能消除设备台账和设备基础数据不完善及易丢失等问题。同时，设备云平台实时监控设备状态，支持周期性设备保养维护，理性设备点检巡检，在线登记设备异常，提高生产效能，降低设备故障率，提高生产稳定性。设备云平台可对采集到的设备数据进行大数据分析，为制造企业提供零配件生命周期分析及设备维修预警，实现生产设备预测性维护。

3) 一码全览，追根溯源

为了保证产品质量安全，加强企业对产品的全流通领域管理，快速准确了解生产过程，及时处理问题产品，快速冻结和召回问题产品，建立基于工业互联网标识的产品质量追溯系统。在产品流通环节中，各环节企业在本地保存产品追溯数据，将其产品追溯标识编码与产品信息存储地址之间的映射关系向标识解析系统进行注册，由标识服务体系统一管理，终端用户可基于标识服务查询产品在流通过程中的所有追溯信息的地址标识集合，进而访问产品的所有追溯信息。



图 27：基于标识解析的一码全览的产品质量追溯

4) 一码到底，协同制造

生产制造协同平台运用工业互联网标识并结合物联网、大数据、区块链等新兴信息技术，将产业链中的串行工作变为并行工程，实现供应链内及跨供应链间的企业产品设计、计划、制造、销售、管理高效协同，充分发挥工业互联网标识的体系优势，以“一码一物，一码到底”为核心理念，贯通产业链上下游，为供应链节点企业提供实时交互的共享与沟通平台，实现供应链节点企业的同步运作与信息协同，同时增加端到端的透明度，提高决策的快速性和有效性，达到资源充分利用的目的。

5) 一码多识，分权管控

基于工业互联网标识，对不同职责的角色进行不同权限的划分和管控，可以保证在只有唯一解析入口的前提下，通过身份认证和一码多识技术，实现分权管控。

6) 解决方案价值分析

依托工业互联网标识解析体系，线缆行业标识解析二级节点服务平台为线缆行业上下游企业提供标识解析和注册服务，实现设备智能化管理新模式，贯通线缆产业链通过智能转型，企业预计设备使用周期延长 25% 以上，设备故障率降低 20% 以上，维保费用降低 30% 以上，人工成本降低 20% 以上，生产效率将提高 15% 以上，不良品率降低 10% 以上，整个线缆行业实现制造成本下降 20%。

3.11.4 当前挑战与认识

本案例中，标识解析服务是整个解决方案中的核心，体现出公有的、全局唯一的身份在工业互联网应用中起到了非常重要的基础作用。为了更好地实现物理实体的数字化，建议应积极考虑建设标识解析相关基础设施的必要性，从而有助于实现异主、异构数据交互，满足工业互联网应用场景对于标识的需求，进而为跨企业、跨行业、跨平台的数据互联互通提供保障；工业互联网标识解析体系的建设，能够更好地将成熟的工业互联网应用模式快速地拓展到不同的行业；同时，标识解析对于资产管理、数字身份管理等多个领域支撑显著。

3.12 案例“网络安全紧急处置和安全保护解决方案”

3.12.1 案例概述

奇安信服务的某知名新能源汽车制造企业是一家国内领先的高新技术企业，在全球设立 30 多个工业园，拥有长沙、西安等多个生产基地。该企业遭受“永恒之蓝”病毒侵袭，使生产制造产线上的多台上位机频繁蓝屏死机，并迅速蔓延至整个生产园区内的大部分上位机，产线被迫停止生产，损失巨大。

在遭受勒索病毒侵袭的背后，该企业面临两大安全问题：一是工业现场的上位机大多老旧，服役 10 年以上仍在运行的主机也很常见，而工业现场的相对封闭性，使得补丁升级、病毒处理变得复杂；二是该企业生产网络与办公网络连通，未采取安全防护措施，一旦感染病毒就会造成巨大影响。

奇安信为企业制定了应急处置和安全防护方案，有效解决了勒索病毒带来的蓝屏重启问题，同时，提升了工业主机的安全防御能力，保障该大型制造企业各个生产园区产线稳定运行。

3.12.2 价值视角

该方案为该汽车制造企业全国各地园区的生产线上共计部署了 17000 多套工业主机安全防护系统，自部署以来运行稳定，为企业提供了安全健康的生产环境。同时，经实践验证，该方案是一套成熟可靠的安全解决方案，能够适用于大部分工业控制系统，为其它大型智能制造企业推进工业网络安全建设奠定了基础。

3.12.3 功能视角

在该解决方案中，针对该企业遭受勒索病毒攻击的实际情况以及存在的安全隐患，奇安信提供以下四类安全服务：

一是威胁识别。奇安信在生产网络核心交换机旁路部署工业安全检查评估工具对生产网络数据流量进行检测，通过与安全大数据能力生成的多维度海量恶意威胁情报数据库进行关联分析，判定威胁类型。同时，还可详细统计出所有问题终端的 IP 地址和 MAC 地址，结合企业提供的资产清单，锁定绝大部分问题终端的具体位置。

二是应急处置。发现上位机感染 WannaCry 病毒之后，为避免上位机数据加密带来进一步的危害，奇安信紧急在生产网络中部署一台伪装病毒服务器，域名设定为病毒网站，并通过策略设置将生产网上位机的 DNS 指向此伪装服务器，阻止 WannaCry 病毒的后续影响。

三是感染处理。奇安信安服人员在锁定问题终端位置后，在第一时间关闭 445 端口，避免病毒进一步扩散，然后，对问题终端系统及数据进行备份，用奇安信 WannaCry 病毒专杀工具进行杀毒处理，清除病毒。

四是安全加固。为了避免处理完成的上位机再次感染病毒，安服人员在生产线上的上位机部署安装工业主机安全防护系统。该系统基于轻量级“应用程序白名单”技术，智能学习并自动生成工业主机操作系统及专用工业软件正常行为模式的“白名单”防护基线，放行正常的操作系统进程及专用工业软件，主动阻断未知程序、木马病毒、恶意软件、攻击脚本等运行，为工业主机创建干净安全的运行环境。

同时，针对可联网的上位机，通过部署网络版的工业主机安全防护系统控制中心进行分组管理、策略制定下发、终端软硬件资产管理、安全日志收集告警等功能，实现统一管理、配置和安全风险管控。

防护部署方案如下图所示：

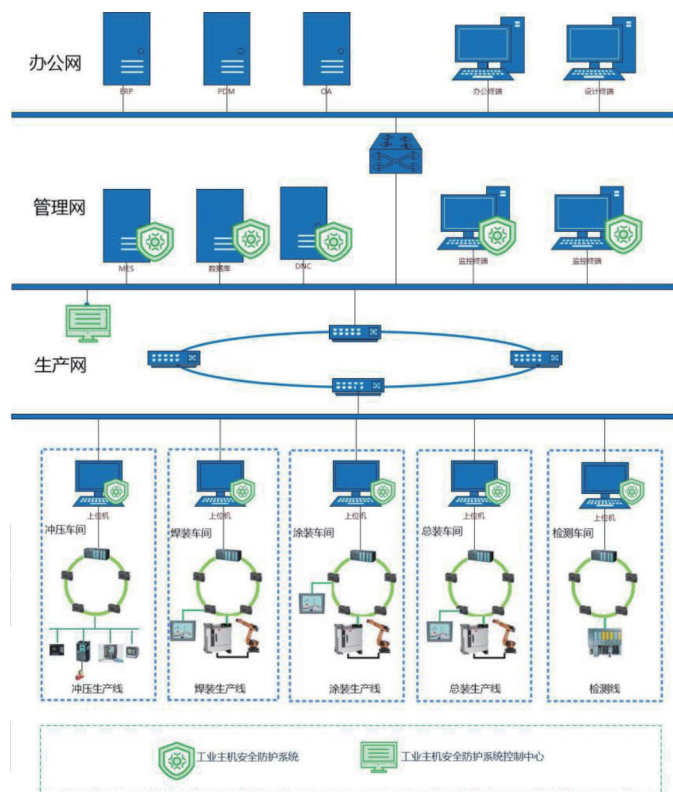


图 28：工业主机安全防护部署示意图

3.12.4 当前挑战与认识

依托安全大数据能力生成的多维度海量恶意威胁情报库为威胁溯源提供了重要帮助，是解决安全问题不可或缺的基础能力。同时，威胁识别、应急处置、感染处理、安全加固的解决流程具有代表性和普适性，做到了“事前、事中、事后”全流程的安全把控。

3.13 案例 3.7 - 3.12 讨论：基于工业互联网体系架构 2.0 视角

整体来看，以上选取的应用案例综合体现了工业互联网体系架构 2.0 的内容和特色，反映了中国产业界对工业互联网的理解和实践，具备一定的研究价值和借鉴意义。

从功能来看，案例涵盖体系架构 2.0 中的多项功能，是网络、平台、安全三大功能体系在中国工业互联网实践中的落地延伸。其中，青岛港案例从 5G 部署出发，描绘了中国新型网络应用的一大重点方向；树根互联、海尔、九州云、江苏中天四类案例则从不同角度构建工业互联网平台，展现出中国平台应用模式的多样性；奇安信案例则聚焦应急处置及安全防护解决方案，凸显工业互联网中的安全功能。

从实施来看，案例贯穿体系架构 2.0 中的各层级与各要素实施，是中国工业互联网应用的典型代表。其中，树根互联案例聚焦产业层的后服务情况；九州云案例关注现场的设备监测和管控；奇安信案例从设备、边缘、企业三层构建安全防护；海尔、青岛港、江苏中天的案例则分别从生产全流程、网络部署、标识解析建设三大角度覆盖全部四个层次。

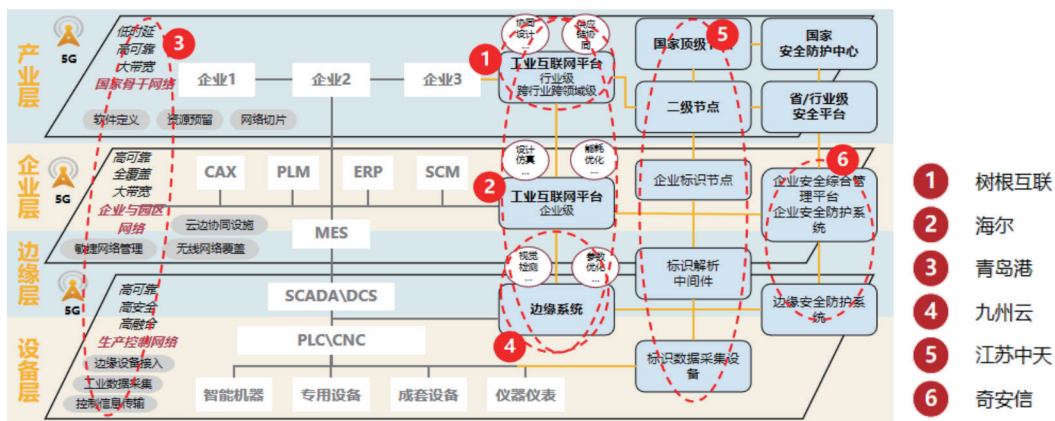


图 29：中方实践案例总结

4. 结论

4.1. 工业 4.0 与工业互联网对中德两国具有重要战略意义

引言中提到工业互联网是制造业数字化转型的重要使能技术。因此，在德国，《2030 年工业 4.0 愿景：塑造全球数字生态系统》⁸ 和工业 4.0 平台中讨论价值创造时强调了工业互联网的重要作用。在中国，2016 年工业互联网产业联盟成立。2017 年印发了《国务院关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》。德中两国的工业 4.0 平台和工业互联网产业联盟均致力为企业、研究机构 and 行业协会搭建平台，促进合作。

为促进合作，中德两国政府于 2016 年签署了谅解备忘录。基于该谅解备忘录和中德工业 4.0 合作项目，中德智能制造合作企业对话工作组（AGU）成立。AGU 旨在提高共识、交流最佳实践并提供行业及专家建议。通过分析由参加 AGU 工业互联网专家组的企業提供的案例，我们得出下述结论。

如第 2 章所述，工业 4.0 和工业互联网产业联盟的视角存在略微差异：工业 4.0 侧重制造业如何使用工业物联网创造新价值，而工业互联网产业联盟关注更多领域的应用，如交通运输等。

4.2. 工业 4.0 和工业互联网对于制造业的重要价值：案例总结

AGU 的企业按照共同的结构和内容要求提供了十个详细案例，专家组集各方洞察之力，深入梳理工业互联网如何为制造业创造价值。

通过应用领域、解决方案和分析视角等多维度对案例进行分析，我们在广泛的应用思路、技术使用、多元化需求等方面得出新的结论。因此，工业 4.0 和工业互联网之间的细微差异极大地促进了对实践案例的关注和深入讨论。

通过比较中德专家提供的案例，我们发现德方案例更强调多元化应用视角。中方除了制造业之外，亦关注其他领域（例如运输、物流等行业），同时侧重于功能视角描述的多样性。

通过从案例共同提出的普遍问题，我们总结出以下结论：

4.2.1 互操作性（机器连通性和组网）

案例中多个企业需要以安全可靠的方式交换数据并使用数据创造价值，互操作性对案例的顺利展开非常重要。

网络是这种连通性的基础。从提供的案例可以看出，几乎所有企业都会在物理和协议层使用多种互操作相关的标准，例如以太网、Wifi、4G、IPv6、HTTP、MQTT 等。互联互通方式丰富多元，满足不同客户端基础架构的需求。多个案例的工业物联网平台采用了 MQTT 标准。

中方提供的案例也包括诸如 5G、边缘计算、SDN 之类的前沿技术应用。

另外，具有语法语义解析功能的高级别标准在统一解决方案方面日益发挥重要作用。德方的两个案例采用了 OPC UA 标准。

工业 4.0 平台标准

工业 4.0 平台重视标准在提高制造业系统互操作性方面的作用，为此开发并发布工业 4.0 参考架构模型（RAMI4.0），为有关架构和解决方案的讨论奠定基础。

⁸ 工业 4.0 平台（2019）《2030 年工业 4.0 愿景：塑造全球数字生态系统》。

多家工业 4.0 研究机构认识到标准对互操作性的重要意义。它们携手合作，共同制定详细的标准化发展路线图，该路线图亦提供英文版本⁹。

工业互联网产业联盟标准

中国政府与业界高度重视工业互联网的标准化发展。工业互联网产业联盟在成立之初就组建了技术标准工作小组。中国通信标准化协会（CCSA）成立了工业互联网特设任务组（ST8）。2019 年 3 月，中国国家标准化管理委员会和工业和信息化部发布了《工业互联网综合标准化体系建设指南》，发挥标准在工业互联网产业生态体系构建中的顶层设计和引领规范作用。

中德工业 4.0 合作项目的互操作性标准

标准化工作为促进工业 4.0 和智能制造合作发展穿针引线，由中德工业 4.0/ 智能制造标准化工作小组负责具体工作。作为标准化的核心部分，工作小组比较了工业 4.0 参考架构模型和智能制造系统架构（IMSA），并于 2018 年 4 月联合发布了《用于工业 4.0/ 智能制造系统架构参考架构模型的一致性报告》¹⁰。

该报告指出，OPC UA 标准是适用于两种模型的一类通信标准。

此外，该报告还介绍了若干案例，支持上述有关机器连通性的认识。从工业互联网专家组的内部讨论以及与标准化专家的讨论中可以看出，语法语义规范化通信标准正逐渐引起关注。以 OPC UA 标准为例，作为特定领域的“合作伙伴规范”，OPC UA 还提供语义支持。

4.2.2 数据和数据保护的重要性

数据是工业互联网的原材料。

中德两国的数据所有者、生产者和使用者高度重视使用数据的安全性、完整性和使用的可控性。

因此，两国提供的所有案例几乎都提到了数据保护问题。显然，能否通过工业互联网创造价值，数据保护是关键。

数据保护的要求各不相同。仅第 3 章提到的四个德方案例，便已涉及与竞争性相关的数据保护、跨境数据传输保护以及数字权利和知识产权保护。

此外，中方企业提供的案例还提到了工业互联网安全性的其他方面。例如，中国奇安信集团实施“事前、事中和事后”全过程的安全保护。

因此，数据保护作为术语在单独案例中的具体含义及需求丰富，有待进一步研究。

4.2.3 平台

正如第二章中对工业互联网定义的讨论，平台对于工业互联网的实施至关重要。中德两方的实践案例均基于平台实现数据提供和分析功能，从技术上讲，这可以优化价值链并支持可能的商业创新。

4.3. 建议

从以上结论中可总结得出以下建议：

⁹ 德国标准化研究所（DIN）与德国电工技术委员会（DKE）（2018）《德国标准化路线图：工业 4.0》，第三版

¹⁰ 中德工业 4.0/ 智能制造标准化工作组（2018）《工业 4.0 / 智能制造系统体系结构参考体系结构模型—一致性报告》

4.3.1 一般性结论

1. 工业互联网专家组应继续收集并分析企业案例，推进相关工作。
2. 进一步研究案例以增进共识，并在必要时进行完善。
3. 下一阶段的工作重点应放在“机器连通性，包括语法和语义标准”以及“数据保护”两大领域，并以得出具体建议为目标。

鉴于互操作性标准的重要性，AGU 应与中德标准化合作委员会下属工业 4.0 工作小组进行合作，例如，建议举行联合研讨或会议。

4.3.2 关于互操作性的建议

1. 本报告所涉案例几乎都离不开互操作性和机器连通性。但是，由于工业 4.0 和工业互联网产业联盟的视角存在细微差异，互操作性的含义和优先级亦略有不同。工业互联网专家组应在未来详细讨论案例中提到的机器连通性问题。
2. 尤其，工业互联网专家组应调研中德两国对 MQTT、OPC UA 以及可能的其他语义语法技术的使用。

4.3.3 关于数据保护的建议

工业互联网专家组应在各方提供的案例基础上，对数据保护的重要性和相关性达成共识，包括案例中在应用工业互联网创造价值时涉及的跨境通信和数据所有权方面，列明并记录这些案例对数据保护提出的各类要求。

5. 资源与支持

5.1. 测试床

5.1.1 工业 4.0 实施测试床

在工业 4.0 中，许多公司已意识到将从互操作性和标准测试的支持中受益。因此，工业 4.0 平台收集了有关现有测试床的信息：<https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/InPractice/Testbeds/testbeds.html>

从该网站上可以获得带有联系信息的测试床的完整列表。德国国际合作机构也会将该列表整理，供相关企业和机构借鉴。

图 30 概述了德国和邻近国家的测试床平台。

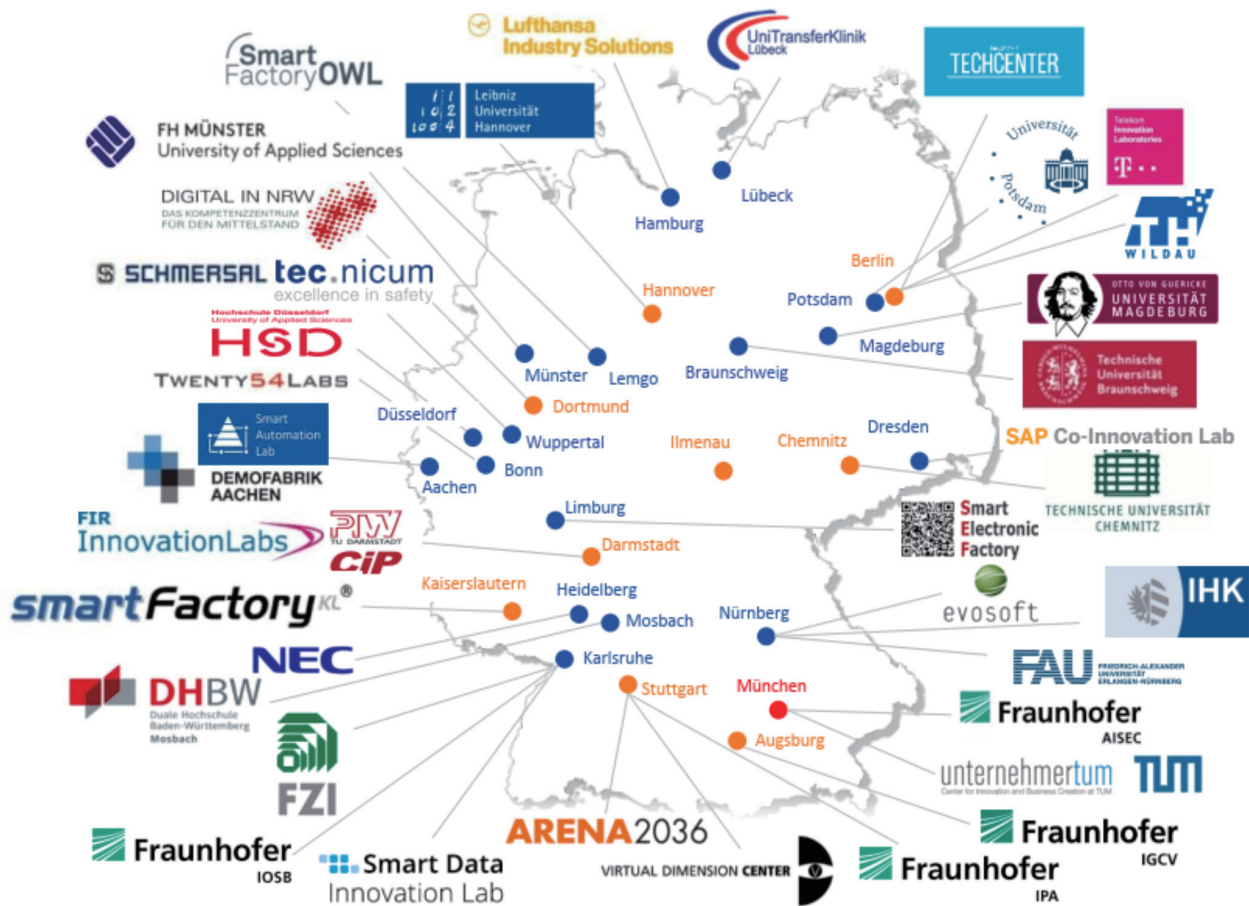


图 30：德国和邻近国家测试床平台

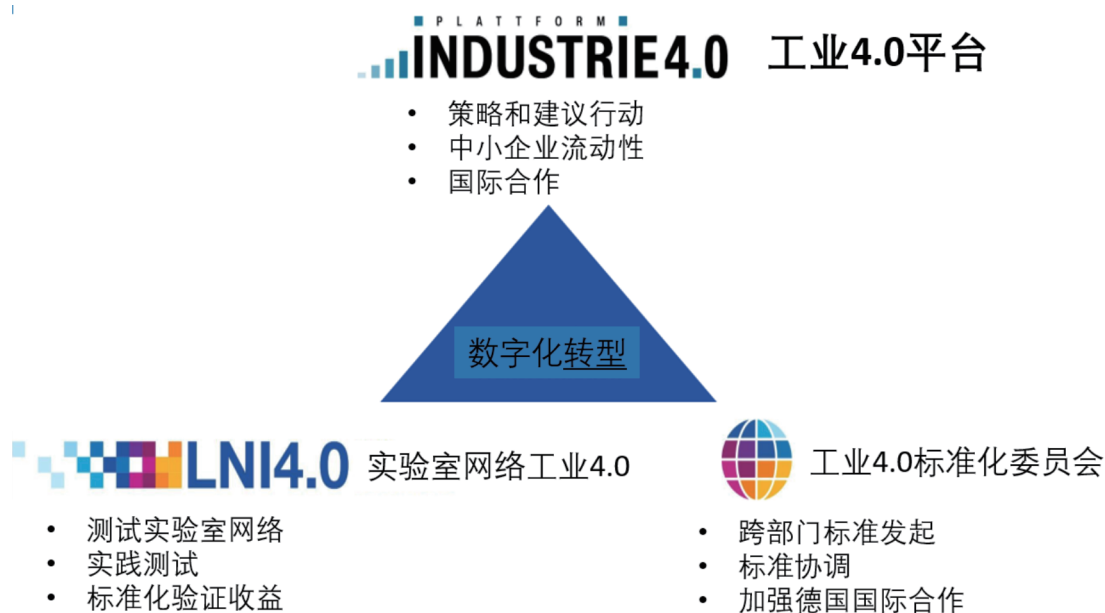


图 31：工业 4.0 平台测试床

工业 4.0 平台测试床作为政府政策与工业 4.0 平台的企业和协会共同发起的倡议，旨在向尽可能多行业和制造技术领域的相关方提供适当的信息。“实验室网络工业 4.0”协会是一站式商店，旨在协调各种方法。它支持公司启动工业 4.0 项目，从测试平台收集结果并将其转发给相关的竞争机构，例如在标准化和国际合作领域。

以下部分给出一个特别适合中德合作的测试床示例。

测试床示例：达姆施塔特工业大学可计算机集成设计系（DiK）

企业动力

在实施项目中，德国的中小型企业（SME）可将其生产资源连接到达姆施塔特工业大学计算机集成设计系（DiK）测试床的虚拟设计和生产环境中。测试床分为平台和云层、边缘计算层和内部部署层。

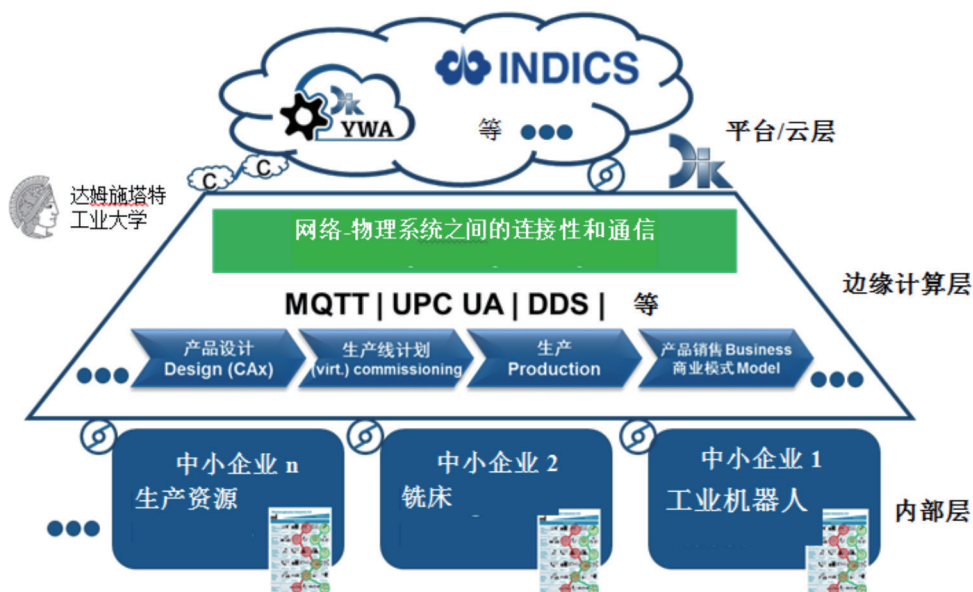


图 32：达姆施塔特工业大学测试床

计算机集成设计系实施项目的目的，是为中小企业提供有关工业 4.0 应对策略的指导和测试结果，以确定面向特定企业的技术解决方案，优化现有产品开发和生产流程，改进现有商业模式并开发新的商业模式。

技术实现方法

计算机集成设计系的专家与中小企业一起，不仅要梳理企业产品开发和生产流程的整体现状，还要确定在测试床环境下实施项目的技术方案。这里将工业 4.0 工具箱产品（Industrie 4.0 Toolbox Product）和工业 4.0 工具箱生产（Industrie 4.0 Toolbox Production）用作具体的技术实现方法¹¹。这两个工具箱在横行中显示应用层，在竖列中说明技术开发阶段。产品的应用层包括传感器和执行器集成、通信和连接、数据存储和信息交换功能、监控以及与产品相关的 IT 服务。生产的应用层包括生产中的数据处理、机器对机器通信、全公司与生产联网、生产中的信息和通信技术基础设施以及人机界面。

虚拟调试实施项目摘要及实例

进行虚拟调试的目的是揭示和纠正源自产品创建过程的故障。本实施项目概述了建模和通信架构，以通过实施不同级别之间的互操作性、连通性和通信实现制造单元的虚拟调试。为此，工业 4.0 工具箱系列对必要的部门专用 CAx 过程链进行分析，实现并演示了在一体化仿真环境中建立模型的系统过程。一对虚拟 PLC 和虚拟生产环境模型展示了通信架构。此外，通过与实际 PLC 的耦合扩展了实施项目。

因此能够生成高质量的互连虚拟孪生体。对于生产企业和自动化技术领域的系统供应商而言，该实施项目值得关注。本标准面向直接或间接参与虚拟调试的人员，例如调试工程师、决定虚拟调试使用的人员、技术销售工程师、生产和工厂计划员、自动化技术员、软件开发人员和电气工程师。

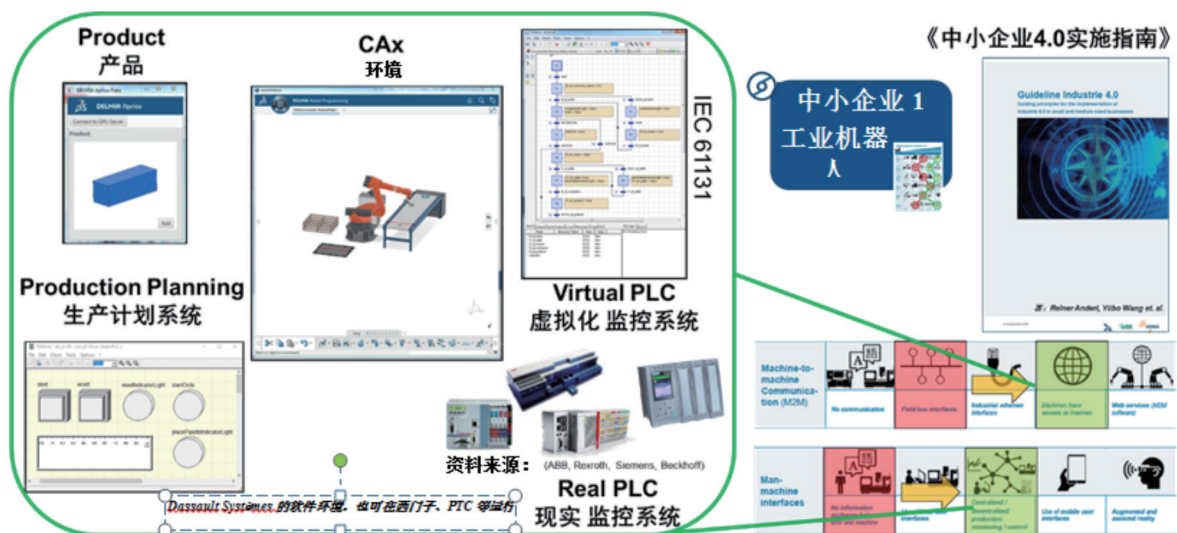


图 33：中小企业 4.0 实施指南

工业 4.0 生产工具箱六个应用层其中两个的技术升级说明：

工具箱中的一个应用层是**机器对机器通信**。该应用层为各种机器之间的自动数据交换奠定基础。工业应用包括现场总线、工业以太网和网络接口。具有自主信息交换功能（网络服务）的网络接口和应用程序提供了信息和位置能够分离的优势。在该实施项目中，用于虚拟调试的通信架构为测试虚拟孪生体和真实环境中的潜在应用程序提供了起点。

人机界面通常是虚拟调试的一个主题。在生产工厂日益复杂的背景下，人机界面日渐重要。在工业实践中，起点往往是某些本地显示设备，这些设备具有在部分程度上对用户不太友好的操作。虚拟调试还可用于诸如移动平板电脑或数据眼镜等新颖的操作。通过虚拟调试，可以测试是否以适当的方式为所要执行的任务提供了正确信息，从而有望缓解员工压力，提高生产效率。

11 赖纳安德尔，安德烈皮卡德，王宇博，于尔根弗莱舍，斯蒂芬多施，本尼迪克特克莱，约格鲍尔，德国机械设备制造业联合会与合作伙伴（发起人）（2015）《行业指南 4.0- 引入中小企业指南》；法兰克福，德国机械设备制造业联合会工业 4.0 论坛，ISBN 978-3-8163-0677-1

为中小企业带来的结果和好处

实施完成后，可为中小企业带来如下结果和好处：

围绕产品的商业模式（BM）包括：

1. 通过销售标准化产品获取利润
2. 产品销售和咨询
3. 产品销售、咨询和改装，以满足客户需求
4. 与产品有关的服务的追加销售
5. 产品功能销售

小批量（生产中的商业模式）的效率包括：

1. 严格的生产系统和少量相同部件
2. 使用灵活生产系统和相同部件
3. 产品的柔性生产系统和模块化设计
4. 公司内部由组件驱动、灵活的模块化产品的生产
5. 增值网络中由组件驱动的模块化生产

5.1.2 工业互联网产业联盟测试床

5.1.2.1 工业互联网网络测试床

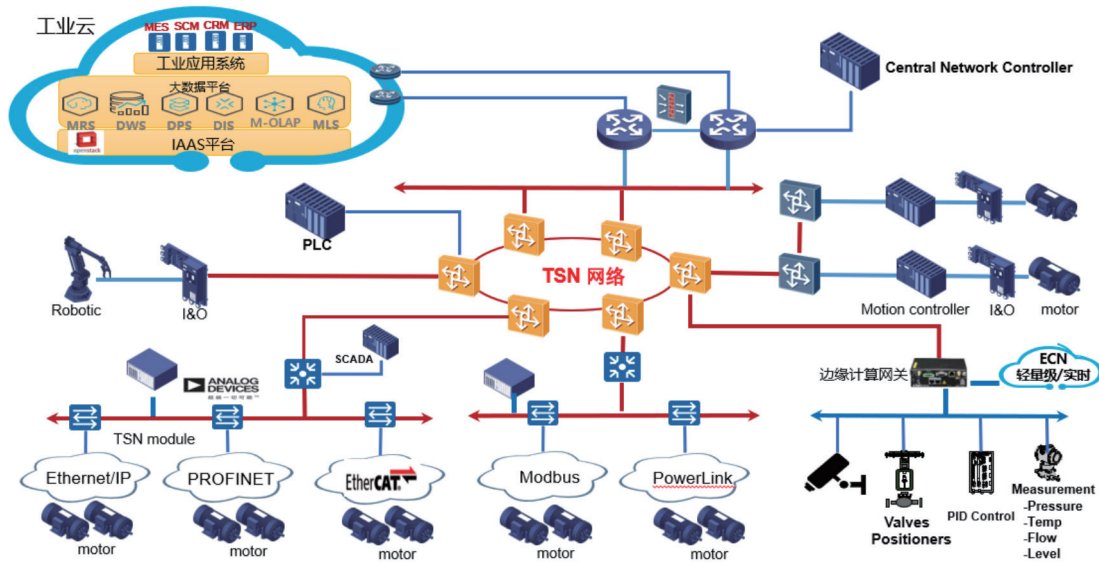


图 34：工业互联网网络测试床平台

中国信通院建设了工业互联网网络创新实验室，打造了网络技术测试验证系统，包含了工业互联网网络模拟仿真环境、工业网络 & 设备测试平台、工业网络新技术验证平台三大模块。工业互联网网络模拟仿真环境提供工业领域现有主流的各类工业以太网仿真环境及新技术模拟环境。主要开展各种工业网络技术（Ethernet/IP、EtherCAT、Profinet、CC-Link、Mod_Bus 等）的比对测试及相关解决方案验证工作。工业互联网网络测试平台，主要开展工业网络设备互通测试、协议一致性测试、工业网络性能测试等，实现设备及网络在垂直行业的标准化建设。工业互联网网络验证平台，主要开展以 TSN、SDN 等新型网络技术的研究成果验证，针对垂直行业现场应用的实际需求进行解决方案级验证，实现垂直行业网络方案孵化，为新技术新方案在工业场景中应用提供评测评估。实验室已牵头开展了两轮时间敏感网络设备互动和一致性测试，并向业内发布了互通测试报告，并持续输出以测试方案、标准、测试报告、研究报告等成果。

5.1.2.2 工业互联网平台功能测试服务系统

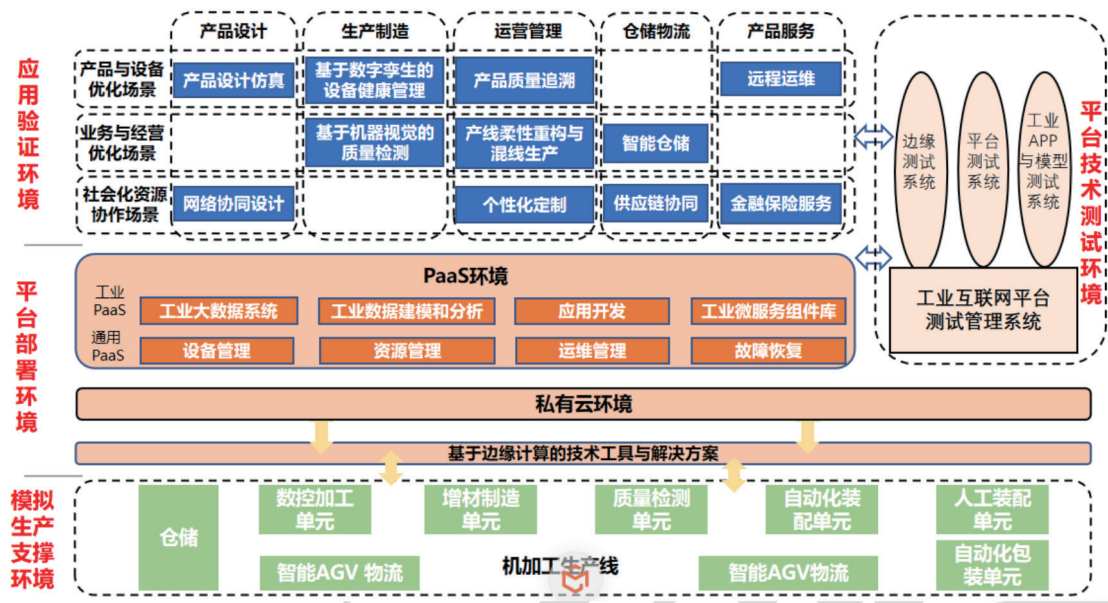


图 35：工业互联网平台测试床架构

中国信通院打造了“模拟生产支撑环境 + 平台部署环境 + 应用验证环境 + 技术验证环境”四层功能架构的工业互联网平台测试床，能够面向全领域、多场景提供丰富的平台技术和应用测试验证。

一是模拟生产支撑环境负责为应用验证提供基础物理对象，包含面向离散制造的数控加工、增材制造、质量检测、自动化装配、仓储等单元，具备提供从产品的下单、计划、生产到入库的全数字化制造能力。

二是平台部署环境为应用验证提供基础技术支撑，包含边缘层、IaaS层、PaaS层三部分。边缘层主要进行产线实时数据的采集和处理，IaaS层实现网络、计算、存储等计算机资源的池化管理，PaaS层通过构叠大数据处理、工业数据分析、工业微服务等功能构建可扩展的工业操作系统。

三是应用验证环境基于模拟生产支撑环境和平台部署环境构建，一方面提供设计、生产、管理、服务全领域应用验证，例如从产品设计仿真、基于数字孪生的设备健康管理到产品远程运维。另一方面提供产品、车间、企业多场景的应用验证，例如产品质量追溯、车间产线柔性重构和企业网络化协同设计。

四是构建了“边缘测试 + PaaS测试 + 工业APP测试”的平台多层次通用技术测试验证环境。例如边缘测试指标包含设备接入、协议转换等性能，PaaS测试指标包含工业数据应用、应用开发等能力等，工业APP测试指标包含数据模型应用和机理模型应用等能力。

5.1.2.3 工业互联网平台可信测试服务系统

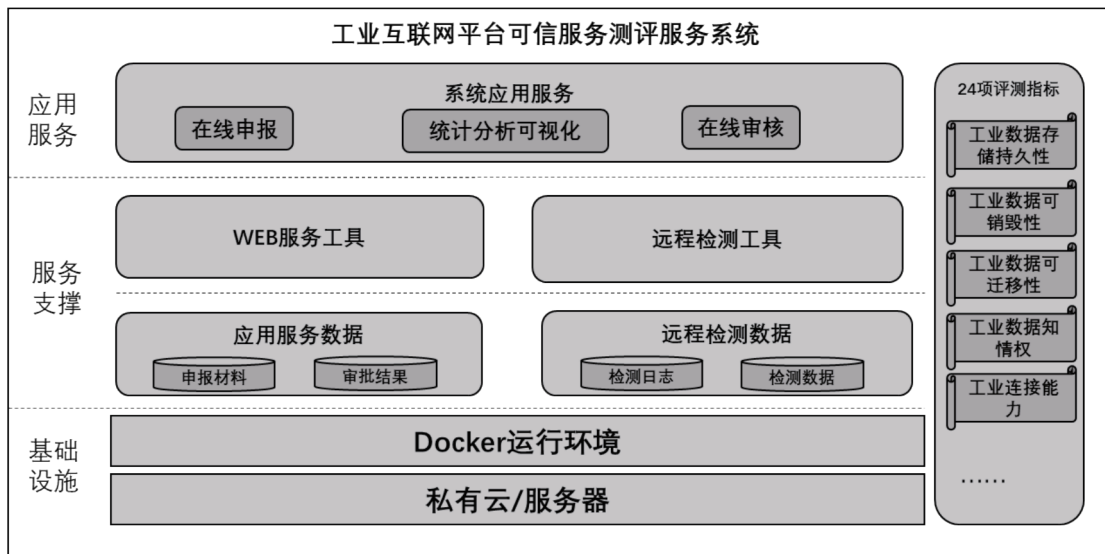


图 36：工业互联网平台可信服务测评服务系统架构图

工业互联网产业联盟（AII）于 2017 年启动了工业互联网平台可信服务评估活动，依据 AII 发布的标准《工业互联网平台可信服务评估评测要求》。工业互联网平台可信服务评估从三个方面评估平台服务可信度，一是企业基本信息和业务基本信息披露，即参评企业的基本信息、平台基本信息是否可信，包括企业是否有合规的经营资质；二是服务告知的完备性和规范性，即参评企业是否对用户关心的关键问题通过服务协议或数据和权益保护政策等方式做了规范化、完整的承诺或告知。三是服务告知内容的真实性，即参评企业对用户所承诺或告知的内容是否真实。截止至 2019 年底共 22 家企业通过可信服务测评。2019 年 9 月工业互联网平台可信服务测评服务系统正式上线，提供电子化申报流程及在线平台测试能力，大大的提高了测评服务的便利性及准确性。

5.1.2.4 工业互联网安全公共服务平台

工业互联网安全公共服务平台，包括工业互联网安全试验验证平台、工业互联网安全评估管理平台、工业互联网攻防演练云平台和工业互联网安全监测平台四个子平台。

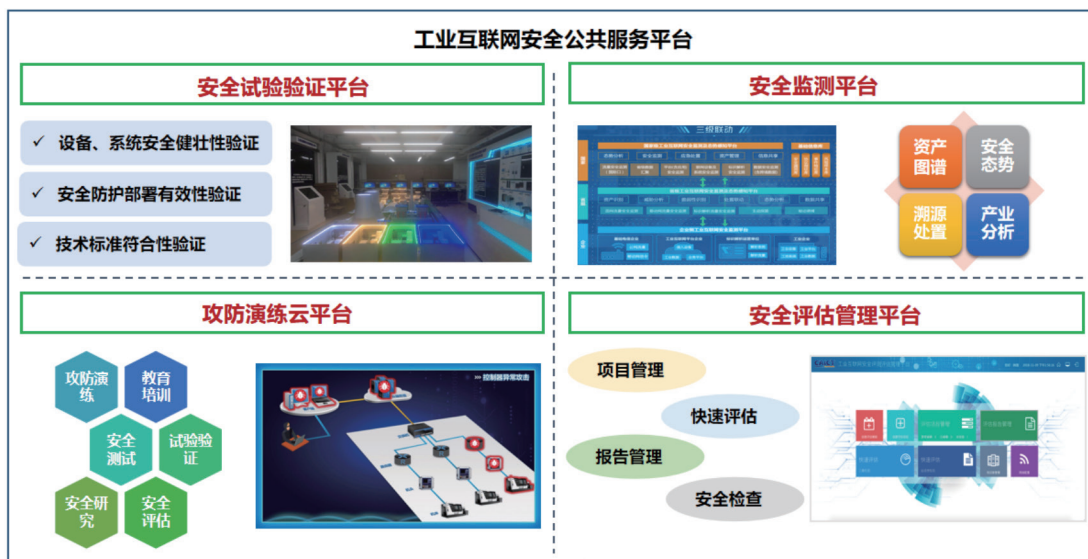


图 37：工业互联网安全公共服务平台功能图

工业互联网安全试验验证平台建有面向火电、石化、钢铁、航空、航天、电子、轨道交通等典型工业应用场景的安全试验验证环境，可进行相关设备、系统的安全健壮性验证、安全防护部署的有效性验证和技术标准符合性验证。工业互联网安全评估管理平台为工业互联网的安全检查和评测评估工作提供规范化的流程指引和专业的检查方法，具有安全评估项目管理、快速评估、评估报告管理等主要功能。工业互联网攻防演练云平台有 1500 多种虚拟靶标资源，并可把用户真实业务系统的全量资源通过镜像的方式移植到网络靶场中，提供安全评估、攻防演练、安全教育培训、系统安全性测试、试验验证、安全研究等能力。工业互联网安全监测平台可为政府机构和企业提供在线安全监测服务，包括绘制全网资产图谱、分析产业现状及发展趋势、感知网络安全态势和威胁事件、针对风险对象和攻击源开展溯源处置等功能，全面提高安全监测和防御处置能力。

5.1.2.5 工业互联网 SDN 公共服务平台

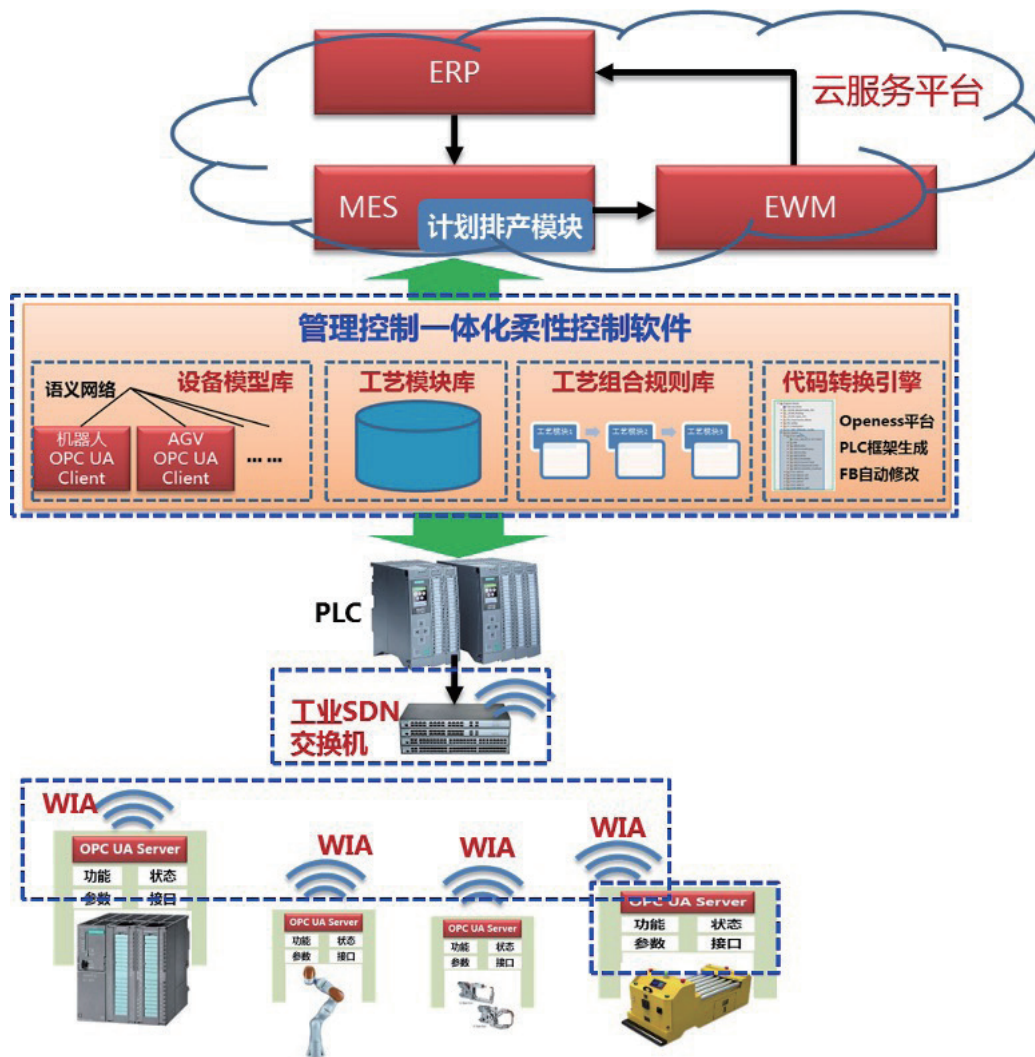


图 38：工业 SDN 网络测试床

工业 SDN 网络测试床由中国科学院沈阳自动化研究所与中国信息通信研究院合作建设。测试床由云服务平台、管理控制软件、工业 SDN 交换机、工业设备组成。通过将工业 SDN 技术在新型工业模块化测试床中的应用，实现了从 ERP、EWM、MES 到生产系统、设备的网络信息“纵向集成”和“扁平化”；通过生产系统的机械结构、工业网络、管理控制软件模块化，能够自适应重组，快速响应产品设计、工艺流程的变化。

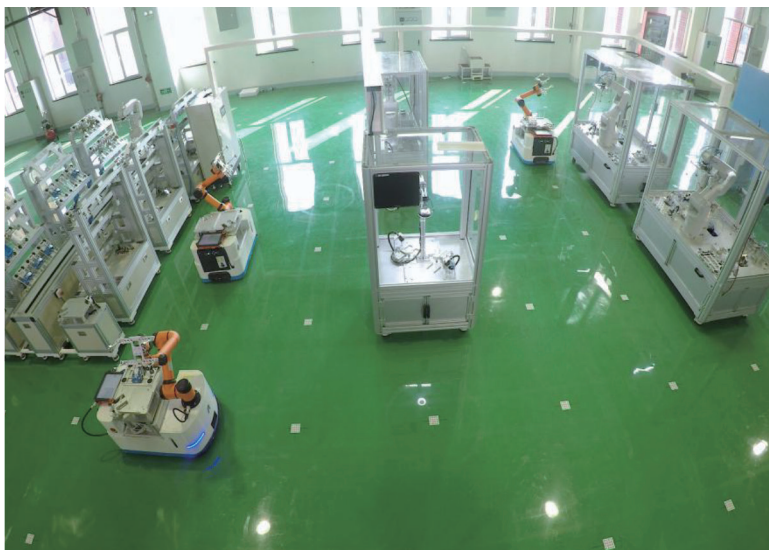


图 39：工业互联网 SDN 真实环境

工业 SDN 测试床采用 SDN 网络扁平化架构，从 ERP、EWM、MES 到生产系统、设备之间数据无缝传递，无人工干预，提高了信息传输、生产管控效率。

采用由中国科学院沈阳自动化研究所自主研发的 WIA-FA 高速工业无线技术，使生产单元、控制系统实现了模块化解耦，使设备部署高度灵活。

利用中国科学院沈阳自动化研究所自主研发的工业 SDN 技术灵活、集中管控的特性，实现 IT 网络与 OT 网络的高效混流传输和自适应分配通信资源，使工业控制网络实现了自适应重构，并通过管控一体化柔性控制软件，使工艺、工序、工步实现了自适应重构。

工业 SDN 测试床支持机械、网络以及服务的动态重构，满足个性化定制需求，实现了混线生产，智能制造，智能仓储以及智能物流的功能。测试可包括网络端到端业务集成、模块化生产组织方式、机械，网络和软件重构、柔性制造、混线生产、智能制造 + 智能仓储、智能机器人 +AGV 小车等典型场景。

5.1.2.6 工业互联网制造安全一体化测试床

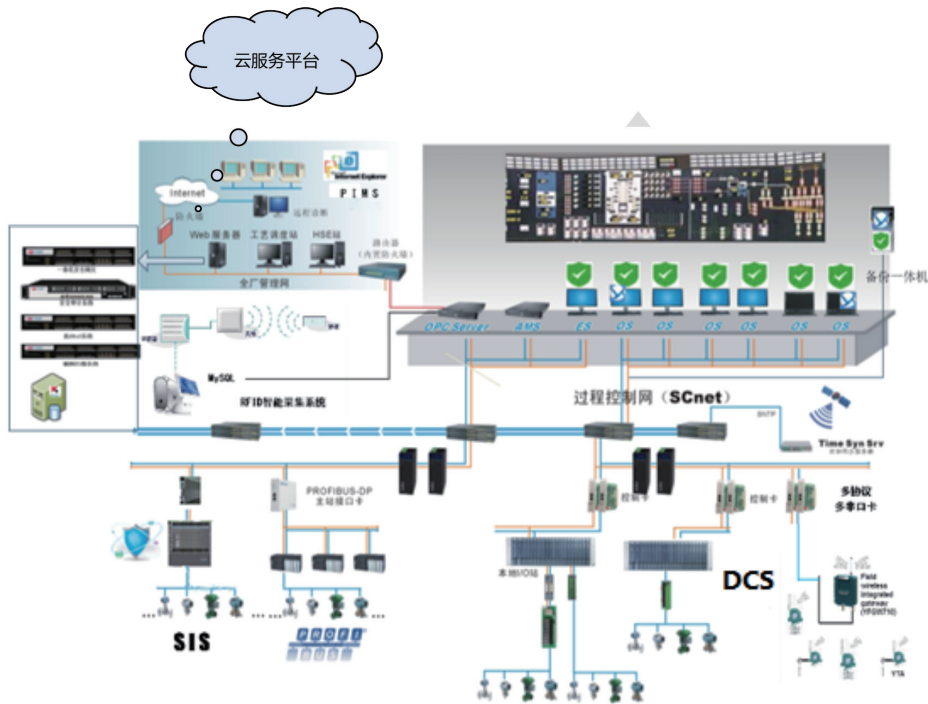


图 40：工业互联网制造安全一体化测试床

工业互联网制造安全一体化测试床由机械工业仪器仪表综合技术经济研究所建设。测试床由云服务平台、安全一体化系统、管理控制软件与工业设备等组成。通过采用真实的数字化、智能化仪表和工业控制系统，高度还原现场数字化智能化运行场景；以安全需求为导向，以危险分析为抓手弹性适配安全一体化系统；利用网络将现场设备工况与安全一体化状态实时传送至云端，形成具有“云管端”特征的工控安全一体化综合测试平台；可测试工控系统在发生危险事件或遭受网络攻击时安全一体化系统防护策略与安全技术的有效性。



图 41：智能制造安全一体化测试床真实操作环境

智能制造安全一体化测试床采用经典的普度模型架构，以工控系统安全一体化为着力点，通过主动防御、智能调度与协同响应等技术措施实现生产过程中的功能安全、信息安全与协同安全，构建起智能制造安全一体化全生命周期管理、风险评估以及系统协同设计与评估的架构体系，支持工控安全仪表系统（SIS）、信息安全设备配置以及 DCS 与 SIS 共用网络等多场景复杂环境下的安全测试，具有开放性、安全性、易用性、实时性等特点。

参考文献

Anderl, Reiner; Picard, André; Wang, Yübo; Fleischer, Jürgen; Dosch, Steffen; Klee, Benedikt; Bauer, Jörg. VDMA und Partner (Urheber) (2015), Leitfaden Industrie 4.0 – Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand. Frankfurt, VDMA Forum Industrie 4.0, ISBN 978-3-8163-0677-1

Cambridge Dictionary, <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/interoperability>.

DIN e.V. & DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik (2018), German Standardization Roadmap: Industrie 4.0, Version 3.

IIC and Plattform Industrie 4.0 (2017), Architecture Alignment and Interoperability: An Industrial Internet Consortium and Plattform Industrie 4.0 Joint White Paper, p. 2.

Plattform Industrie 4.0 (2017), Exemplification of the Industrie 4.0 Application Scenario Value-Based Service following IIRA Structure, p. 7. Plattform Industrie 4.0 (2018), Discussion Paper: Usage Viewpoint of Application Scenario Value-Based Service, p. 11f.

Plattform Industrie 4.0 (2019), 2030 Vision for Industrie 4.0: Shaping Digital Ecosystem Globally.

Sino-German Industrie 4.0/Intelligent Manufacturing Standardisation Sub-Working Group (2018), Alignment Report for Reference Architectural Model for Industrie 4.0/ Intelligent Manufacturing System Architecture.

工业互联网产业联盟，《工业互联网体系架构（版本 2.0）》白皮书

工业互联网产业联盟，《工业互联网安全框架》白皮书

工业互联网产业联盟，《工业互联网平台白皮书（2019）》白皮书

工业互联网产业联盟，《工业互联网标准体系（版本 2.0）》白皮书

致谢

本出版物为中德智能制造合作企业对话工作组（AGU）工业互联网专家组内中德企业密切合作的成果，以支持中国工业和信息化部（MIIT）和德国联邦经济和能源处（BMWi）继 2014 年“共塑创新”联合行动纲要后于 2015 年签署的《谅解备忘录》。

特别鸣谢以下机构及个人：

作者

牵头作者

Dr Peter Mertens, 西门子

余晓晖, 中国信息通信研究院（CAICT）

合著者

Dr Mattias Lampe, 西门子（中国）

彭俊松博士, 思爱普（中国）

徐永硕, 思爱普（中国）

Prof. Dr-Ing. Reiner Anderl, 达姆施塔特工业大学

Yübo Wang, 达姆施塔特工业大学

Dr-Ing. Reinhold Achatz, 蒂森克虏伯；国际数据空间协会

Harold Tian, 蒂森克虏伯（中国）

Klaus Bauer, 通快集团

蒋昕昊, CAICT

刘阳, CAICT

张恒升, CAICT

尹杨鹏, CAICT

秦国英, CAICT

黄颖, CAICT

时晓光, CAICT

侯伟彬博士, CAICT

有晓宇, CAICT

李铮, CAICT

杜加懂, CAICT

秦业博士, CAICT

贡献编著

Dr Joachim Stumpfe, 蒂森克虏伯

Dr Hans-Peter Bock, 通快集团

侯宝存, 中国航天科工集团

黄路川, 树根互联

杨雯, 海尔卡奥斯物联生态科技有限公司

官祥臻, 海尔集团

史扬, 华为技术有限公司

陶耀东博士, 奇安信集团

刘默, CAICT

田洪川, CAICT

田慧蓉, CAICT

编辑

德国国际合作机构（GIZ）

李天凝, Peter Becker, 魏琪, Simon Kußler, 罗雅文

中国通信信息研究院（CAICT）

葛雨明博士

支持单位

99 云, 中国联通, 航天云网, 海尔, 奇安信, 树根互联, 江苏中天



德国国际合作机构 (GIZ)

注册地: 德国波恩、埃施伯恩

德国国际机构 (GIZ) 驻华代表处
盛福大厦 1100
北京市朝阳区麦子店街 37 号, 100125
电话: +86 10 8527 5180

邮箱: giz-china@giz.de
网址: www.giz.de/china

中德工业 4.0 项目
塔园外交人员办公大楼二单元 5 楼
北京市朝阳区亮马河南路 14 号, 100600
电话 +86 10 8532 4845
传真 +86 10 8532 4266

邮箱: info@i40-china.org
网址: www.i40-china.org



中国信息通信研究院 (CAICT)

北京市海淀区花园北路 52 号, 100191
电话: +86 10 62301618
传真: +86 10 62304346

网址: www.caict.ac.cn

