



工业 4.0 x 工业互联网： 实践与启示

中德智能制造合作企业对话工作组（AGU）工业互联网专家组

Published by

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

CAICT
中国信通院

工业 4.0 x 工业互联网： 实践与启示

中德智能制造合作企业对话工作组（AGU）工业互联网专家组

发布单位:

德国国际合作机构 (GIZ)

中国信息通信研究院 (CAICT)

注册地: 德国波恩、埃施伯恩

北京市海淀区花园北路 52 号, 100191

电话: +86 10 62301618

德国国际合作机构 (GIZ) 驻华代表处

传真: +86 10 62304346

盛福大厦 1100

北京市朝阳区麦子店街 37 号, 100125

网址: www.caict.ac.cn

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

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部 (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》。

自 2016 年起, 受两国部委委托, 德国国际合作机构 (GIZ) 与中国电子信息产业发展研究院 (赛迪研究院, 简称 CCID) 分别为中德双方合作执行机构。本出版物中的研究发现、阐释和结论不代表 GIZ、CCID 或其代表的政府的观点。GIZ 与 CCID 不保证本出版物中所包含信息的准确性和完整性, 对因使用本出版物而产生的任何错误、遗漏或损失不承担任何责任。

设计排版:

北京卓创广告有限公司

图片来源:

Adobe Stock: Pugun & Photo Studio

北京, 2020 年 8 月

目录

摘要

1. 引言	3
1.1. 中德智能制造合作企业对话工作组（AGU）背景	3
1.2. 白皮书编制说明	3
2. 定义与范围	4
2.1. “工业互联网”定义	4
2.2. 从工业 4.0 视角讨论工业互联网	4
2.3. 从工业互联网体系架构视角讨论工业互联网	6
2.4. 工业 4.0 与工业互联网体系架构	8
2.5. 其他关键术语	9
2.6. 白皮书的范围和概述	9
3. 实践案例	10
3.1. 案例分析架构	10
3.2. 案例“作为服务的冷却”	12
3.2.1 案例概述	12
3.2.2 业务视角	13
3.2.3 功能视角	13
3.2.4 当前挑战与认识	14
3.3. 案例“远程和预测性维护”	14
3.3.1 案例概述	14
3.3.2 业务视角	15
3.3.3 功能视角	16
3.3.4 当前挑战与认识	16
3.4. 案例“作为服务的 3D 打印”	17
3.4.1 案例概述	17
3.4.2 业务视角	17
3.4.3 功能视角	18
3.4.4 当前挑战与认识	20
3.5. 案例“机械行业端到端集成 PLM 流程”	21
3.5.1 案例概述	21
3.5.2 业务视角	21
3.5.3 功能视角	22
3.5.4 当前挑战与认识	23
3.6. 工业 4.0 案例 3.2 - 3.5 讨论	24

3.7. 案例“工程机械智能售后服务解决方案”	24
3.7.1 案例概述	24
3.7.2 业务视角	25
3.7.3 功能视角	25
3.7.4 当前挑战与认识	26
3.8. 案例“面向家电行业的大规模个性化定制解决方案”	26
3.8.1 案例概述	26
3.8.2 价值视角	26
3.8.3 功能视角	27
3.8.4 当前挑战与认识	27
3.9. 案例“5G 智慧港口案例分析”	27
3.9.1 案例概述	27
3.9.2 价值视角	28
3.9.3 功能视角	29
3.9.4 当前挑战与认识	29
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”	29
3.10.1 案例概述	29
3.10.2 价值视角	30
3.10.3 功能视角	30
3.10.4 当前挑战与认识	30
3.11. 案例“标识与追踪”	31
3.11.1 案例概述	31
3.11.2 价值视角	31
3.11.3 功能视角	31
3.11.4 当前挑战与认识	33
3.12. 案例“网络安全紧急处置和安全保护解决方案”	33
3.12.1 案例概述	33
3.12.2 价值视角	33
3.12.3 功能视角	33
3.12.4 当前挑战与认识	34
3.13. 工业互联网体系架构案例 3.7 - 3.12 讨论	35

4. 结论	36
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	36
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	36
4.2.1 互操作性（机器连通性和网络）	36
4.2.2 数据和数据保护的重要性	37
4.2.3 平台	37

4.3. 建议	37
4.3.1 一般性结论	38
4.3.2 关于互操作性的建议	38
4.3.3 关于数据保护的建议	38
5. 资源与支持	39
5.1. 测试床	39
5.1.1 工业 4.0 实施测试床	39
5.1.2 工业互联网产业联盟测试床	42
参考文献	48
致 谢	49

摘要

工业互联网是制造业数字化转型的重要赋能者。中德智能制造合作企业对话工作组（AGU）工业互联网专家组（以下简称“工业互联网专家组”），通过中德双方行业调研和研究，旨在增进相互间概念的理解与认识，提出双方共同发展的重点内容和建议。作为专家组初始阶段的成果，此白皮书展现了中德企业与专家共同工作的初步研究结果，将为未来的合作打下坚实基础。

自第二章定义和范围起，白皮书首先概述了中德专家对有关工业 4.0、智能制造和工业互联网的理解与认识。简单从行业覆盖范围来讲，德国工业 4.0 专注于物联网在制造业中的应用，而中国工业互联网不仅关注工业基础，还涵盖多个垂直行业，如能源、医疗保健和建筑行业等。

在讨论定义的基础上，第三章主要收集并分析了专家组内中德企业所提供的诸多实践案例。德方案例涵盖来自西门子，通快，蒂森克虏伯和思爱普，包括面向服务的冷却，远程和预测性维护，面向服务的 3D 打印，以及机械行业端到端集成 PLM 流程。中方所提供的六个实践案例涵盖了中国工业互联网的广泛应用，例如工程机械智能售后服务解决方案，面向家电行业的大规模个性化定制解决方案，5G 智慧港口案例分析，用于刀具监控和寿命预测的智能管理边缘计算平台，标识与追踪，以及网络安全紧急处置和安全保护解决方案。

对案例的详细描述和分析为第四章中的总结工作提供了坚实基础。以工业互联网的战略重要性和价值为开端，第四章中的结论部分主要侧重互操作性（包括机器联通性与网络），数据保护，无缝 PLM 以及平台，并阐述了工业互联网专家组的未来工作重点首先放在互操作性和数据保护这两个领域，将对案例进行进一步研究。在互操作性方面，工业互联网专家组建议对中德两国使用 MQTT 和 OPC UA 的情况进行调研，并与中德标准化工作组合作，共同拟定建言；在数据保护方面，建议首先对不同需求进行清晰了解，理解数据保护在通信和所有权等方面的不同要求。

白皮书的第五章列出并引用了中德两国工业 4.0 与工业互联网的测试床、相关术语表及其他资源，这些资源为行业参与者和企业提供了宝贵的信息。

1. 引言

1.1. 中德智能制造合作企业对话工作组（AGU）的背景

2015 年 7 月，德国联邦经济和能源部（BMWi）与中国工业和信息化部（MIIT）签署谅解备忘录（MoU），旨在推动中德企业开展智能制造及生产过程网络化合作。

德国联邦经济和能源部已于 2016 年 6 月委托德国国际合作机构（GIZ）实施“中德工业 4.0 项目”（工业 4.0 项目），该项目支持与工信部之间的这项合作机制。为了落实谅解备忘录，中国电子信息产业发展研究院（CCID）与德国国际合作机构共同成立了中德智能制造 / 工业 4.0 合作对话平台以及中德智能制造合作企业对话工作组（AGU）。中德智能制造合作企业对话工作组为企业了解框架条件和政策、交流最佳实践和解决方案以及制定联合政策建议提供了平台。

根据 2018 年 11 月达成的协议，在以下领域成立了四个主要专家组：

- 人工智能
- 数字化商业模式
- 培训 4.0
- 工业互联网

工业互联网是制造业数字化转型的重要赋能者。中德智能制造合作企业对话工作组（AGU）工业互联网专家组应增进中德两国工业领域对技术概念的相互了解，并就双方的治理体系、应用中的实践展开交流。专家组将着重开展三方面工作：工业互联网的互操作性、工业互联网平台应用和工业互联网的数据保护。

工业互联网专家工作组的中方执行伙伴为中国信息通信研究院（以下简称“CAICT”），是工业和信息化部直属科研事业单位，在工业互联网、智能制造、移动互联网与物联网等领域有深入研究与前瞻布局。

1.2. 白皮书编制说明

- 与目标：本白皮书旨在介绍专家当前针对工业互联网应用的分析方法，聚焦智能制造和工业 4.0 领域。白皮书将针对工业互联网实施的现有实践案例提供洞察，并针对关于如何完善框架条件向中德对话提出结论与建议。
- 实践案例：白皮书将对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机构所提供的不同实践案例进行概述。
- 资源与支持：白皮书还将列出并引用其他资源和配套文件，这些资源和配套文件针对已实施标准、现有测试床和术语表提供了宝贵借鉴意义。

2. 定义与范围

2.1. “工业互联网”定义

工业互联网是新一代工业浪潮的产物，全球主要国家在工业互联网探索和实践形成了不同的认识。在本文中，中国对工业互联网的定义来自工业互联网产业联盟（AII），分为宏观层面和技术层面：

- 从宏观层面看，工业互联网通过工业经济全要素、全产业链、全价值链的全面连接，支撑制造业数字化、网络化、智能化转型，不断催生新模式、新业态、新产业，重塑工业生产制造和服务体系，实现工业经济高质量发展。
- 从技术层面看，工业互联网是新型网络、先进计算、大数据、人工智能等新一代信息通信技术与制造技术融合的新型工业数字化系统，它广泛连接人、机、物等各类生产要素，构建支撑海量工业数据管理、建模与分析的数字化平台，提供端到端的安全保障，以此驱动制造业的智能化发展，引发制造模式、服务模式与商业模式的创新变革。

从德国的角度来看，“工业互联网”的定义来自物联网创新联盟（AIOTI）：

- “物联网”和“IoT”是一种能够连接嵌有电子、软件、传感器、执行器和网络连接的物理对象、设备、车辆、建筑物以及其他物体，并使得这些不同对象能够收集和交换数据的网络。

在制造业领域，物联网、工业物联网及工业互联网是同义词，即基于互联网技术和标准将具有计算能力的物理实体相互连接的网络。

为了将上述一般概念与制造业中已有的情景进行区别，工业互联网的定义应突出以下方面：

- “物”通常分布在世界各地，即我们通常不考虑单个工厂部署的系统（例如 MES 系统）。
- 多方利益相关者都对“物”的使用保持关注，即“物”的所有者通常会与利益相关方（例如供应商）进行信息共享。

2.2 从工业 4.0 视角讨论工业互联网

从工业互联网联盟 IIC 与工业 4.0 的联合白皮书讨论来看，工业 4.0 主要面向制造业，而工业物联网（IIoT）适用于能源、医疗保健和制造业等多种行业。因此，德国的“工业 4.0 平台”战略计划主要聚焦于制造业，并从市场和主要供应商这两个方面进行展开。市场方面，通过使用新型先进技术提高效率、增强灵活性或缩短上市时间；主要供应商方面，机器、自动化组件或软件解决方案等供应商面向主要市场提供其产品和服务。

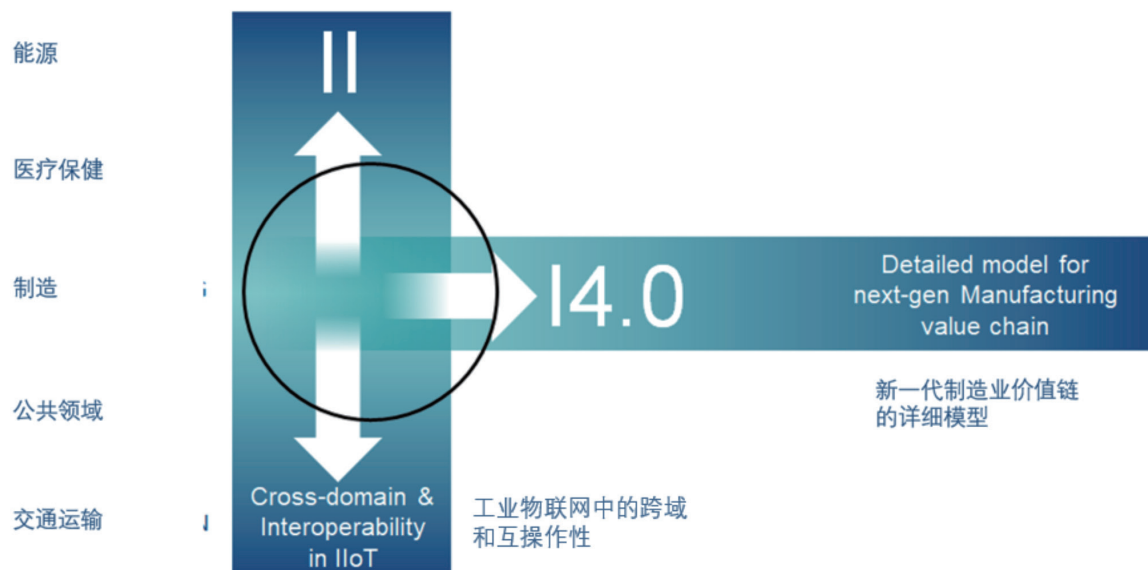


图 1：工业物联网与工业 4.0 之间的连接图解 [资料来源：工业互联网联盟 IIC 和工业 4.0 平台¹]

因此，虽然实践案例来自不同领域，本白皮书将对工业互联网的讨论重点放在与制造业相关的问题上，以此将中德两国行业专家的认识结合起来。

另一方面，工业 4.0 也针对第四次工业革命中，其他未必通过工业互联网来实现的领域进行了讨论。

在技术内容方面，工业 4.0 和工业互联网所交叉的重点领域在于“相连的资产和机器”以及围绕互操作性不断演变的问题。图 2 展示了典型的工业互联网工业 4.0 系统。该系统包括一个工业互联网平台，将关联的资产与各种应用程序连接起来，包含三层结构：

- **连接层：**支持对不同位置资产的连接，并收集资产提供的数据。
- **基础设施层：**能够处理数据并提供计算执行能力。在这一层上，数据被分成可供应用程序使用的功能块。
- **应用层：**由各种应用程序组成并为应用程序提供在基础设施层上创建的功能块。

¹ 工业互联网联盟与工业 4.0 平台（2017）《架构统一与互操作性：工业互联网联盟与工业 4.0 平台联合白皮书》，第 2 页。

² 工业 4.0 平台（2018）《讨论文件：应用场景基于价值的服务的应用视角》，第 11f 页。

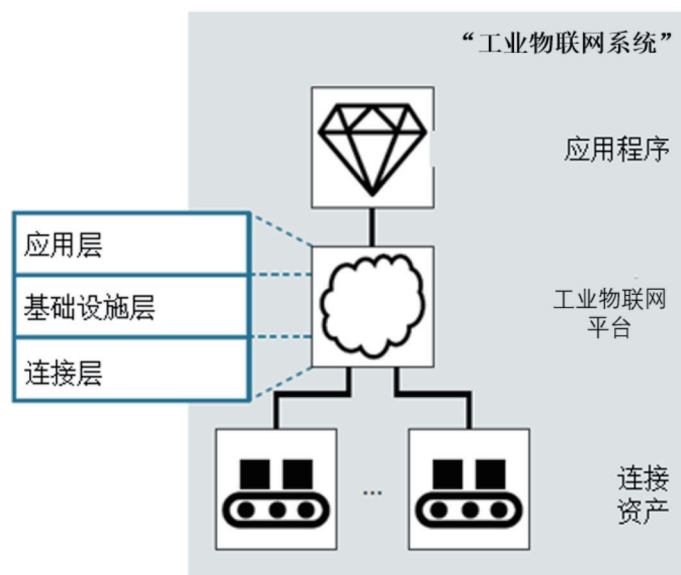


图 2：工业互联网系统不同层次图解 [资料来源：工业 4.0 平台 (2018)^{3]}

2.3 从工业互联网产业联盟视角讨论工业互联网

为快速推动工业互联网产业发展，制造业、信息通信业、安全等领域相关单位于 2016 年 2 月 1 日共同发起成立工业互联网产业联盟（以下简称“联盟”）。联盟秉承开放、共享理念，汇聚各方资源，围绕中国工业互联网顶层设计、技术研发、标准研制、试验验证、产业实践等，深化多领域合作，打造产学研用协同发展平台，共建工业互联网产业生态。目前联盟会员数量已超过 1600 家，形成了“14+13+X”组织架构，发布工业互联网系列白皮书，遴选多个工业互联网测试床、应用案例、解决方案等。组织参与多个国内外大型工业互联网相关活动，与美国工业互联网联盟（IIC）、物联网创新联盟（AIOTI）、日本产业价值链促进会（IVI）等组织建立合作伙伴关系，并支持成立中德工业互联网专家组。联盟将继续围绕工业互联网技术、产业、人才等开展研究，推进产业发展，并将继续深化与国际相关组织的交流与合作。

工业互联网体系架构 2.0 包含三大核心板块。一是业务视图，体现产业目标、商业价值、数字化能力和业务场景。二是功能架构，明确支撑业务实现的功能，包括基本要素、功能模块、交互关系和作用范围。三是实施框架，描述实现功能的软硬件部署，明确系统实施的层级结构、承载实体、关键软硬件和作用关系。

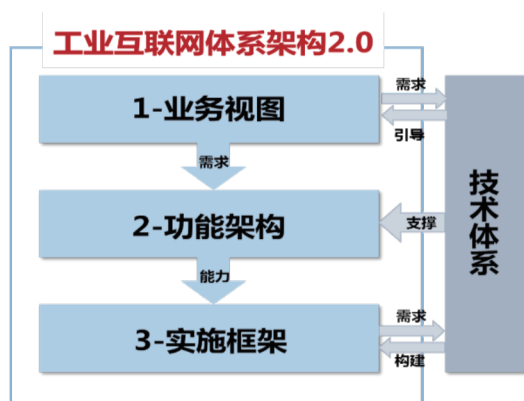


图 3：工业互联网体系架构 2.0

³ 工业 4.0 平台（2018）《讨论文件：应用场景基于价值的服务的应用视角》，第 11f 页。

业务视图定义业务需求与商业价值。业务视图分解为四层，其中**产业层**提出产业创新发展路径，**商业层**指引企业决策人确立企业愿景、方向和目标，**应用层**面向企业信息化主管，明确产品链、价值链、资产链的内涵，**能力层**指出数字化转型、发展工业互联网应具备的能力。

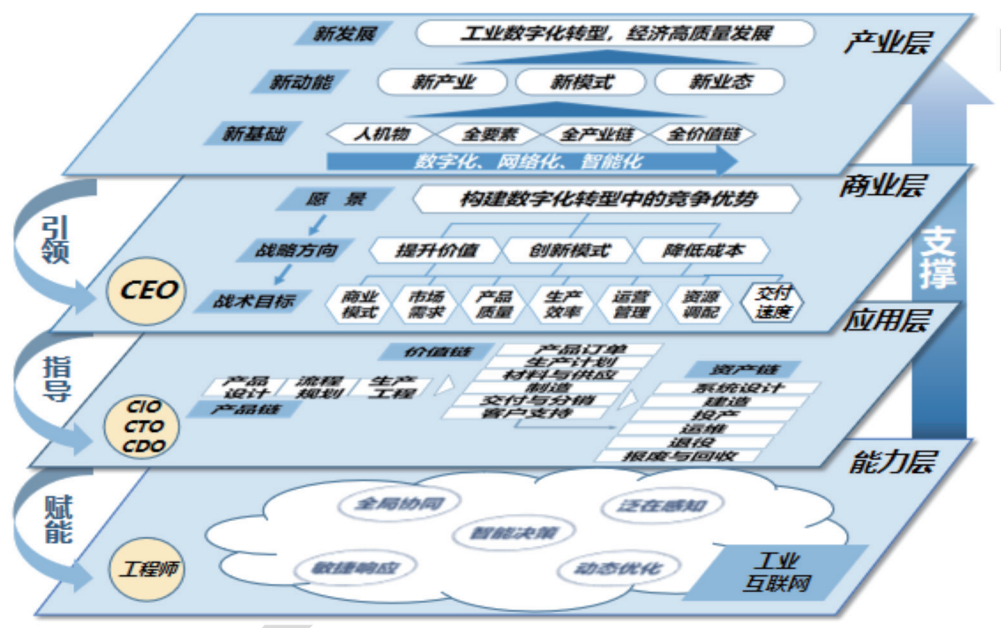


图 4：业务视图

功能架构定义关键能力和功能要素。功能架构是体系架构 2.0 的核心，是产业界明确工业互联网系统中基本要素、功能模块、交互流转关系和作用范围的关键，进一步拓展了深化网络、平台、安全的工业互联网体系，剖析三大功能体系在不同行业、不同场景中的作用与关系，并指明了数据对工业决策优化的作用机理。

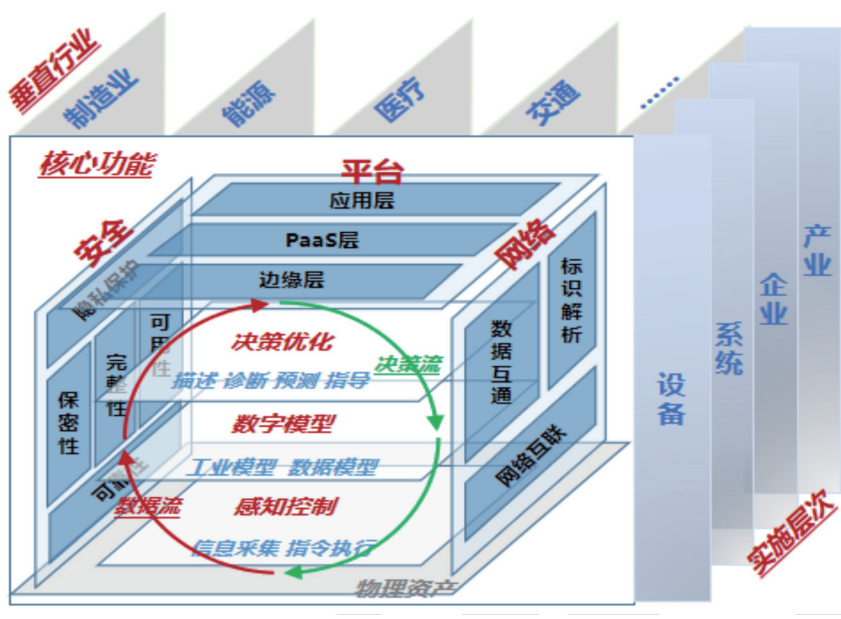


图 5：功能架构

实施框架定义实施核心要素和资源体系。实施框架一方面是功能架构的纵向展开，体现了“网络、标识、平台、安全”四大软硬件系统在“设备层、边缘层、企业层、产业层”的部署方式，为企业开展工业互联网实践提供了操作性的参考。

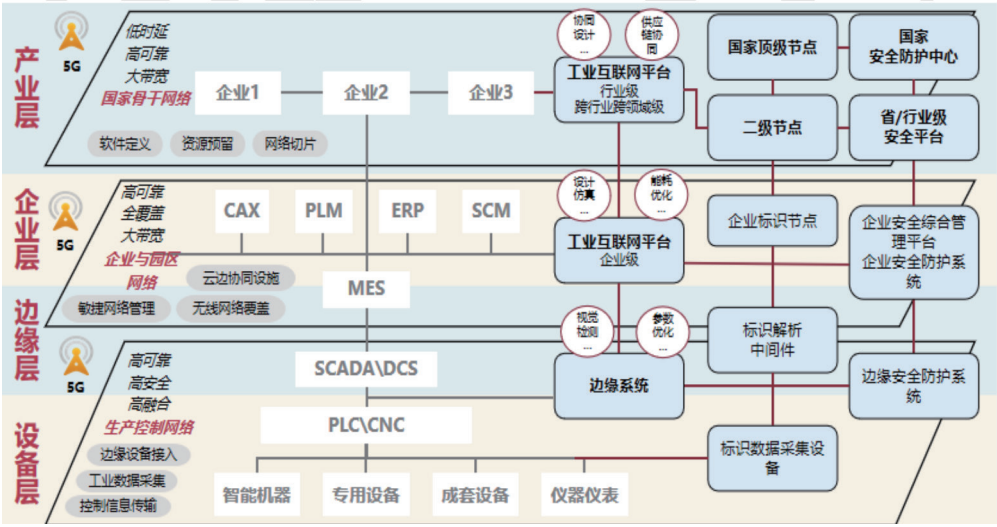


图 6：实施框架

2.4 工业 4.0 与工业互联网产业联盟

通过比较上文有关工业 4.0 和工业互联网产业联盟对工业互联网的定义和讨论，可以发现二者存在重要的共同点。比如，二者均强调以下方面：

- 实物资产连接至工业互联网
- 工业互联网平台是工业互联网的核心要素
- 应用程序能够提供诸多益处，在平台中由应用层予以支持

当然，工业 4.0 和工业互联网产业联盟也存在一定差异。

比如，2.2 章节提出，工业 4.0 主要侧重于制造业，而工业互联网产业联盟所指的工业互联网不仅关注工业基础，还涵盖多个垂直行业，如能源、医疗保健和建筑行业。

关于架构问题，工业 4.0 平台认为工业 4.0 参考架构模型（RAMI）足够涵盖工业互联网的各方面，而工业互联网产业联盟提出应具体定义工业互联网体系架构，如 2.3 章节所述。

为便于工业互联网专家组开展工作，从中德两国企业的讨论中获益，我们一致认同将采用以下方法：

基于企业提供的具体案例展开讨论。

描述案例时采用统一结构，该结构基于中德智能制造和工业 4.0 合作项目的前期工作成果。

对案例内容达成共识。各方通过讨论明确案例，细化至具体问题并提出具体见解。

工业互联网专家组在讨论时应有所侧重，根据案例概述决定讨论细节与重点。

因此，工业互联网专家组将更有针对性地瞄准各方共同关注的领域，同时吸纳不同观点以收获新见解，积极推动落实相关工作。

2.5 关键术语

本白皮书所使用的关键术语为互操作性：

互操作性可以定义为“两个产品、程序等可以一起使用的程度，或者能够一起使用的质量。”⁴

互操作性是在调整网络架构和连接最初使用不同标准的设备的过程中的核心问题。因此，此概念经常用于协调及标准化工作中。

2.6 白皮书的范围和概述

本白皮书讨论由工业互联网专家组的行业专家提供的工业互联网实践案例。在讨论互操作性、数据保护和平台之前，将对这些案例进行详细描述。在评估之后，将总结改进空间，对工业互联网专家组的后续工作提出建议。第五章将总结实用信息，提供术语表和测试床指南。

下图为本白皮书概要图解：

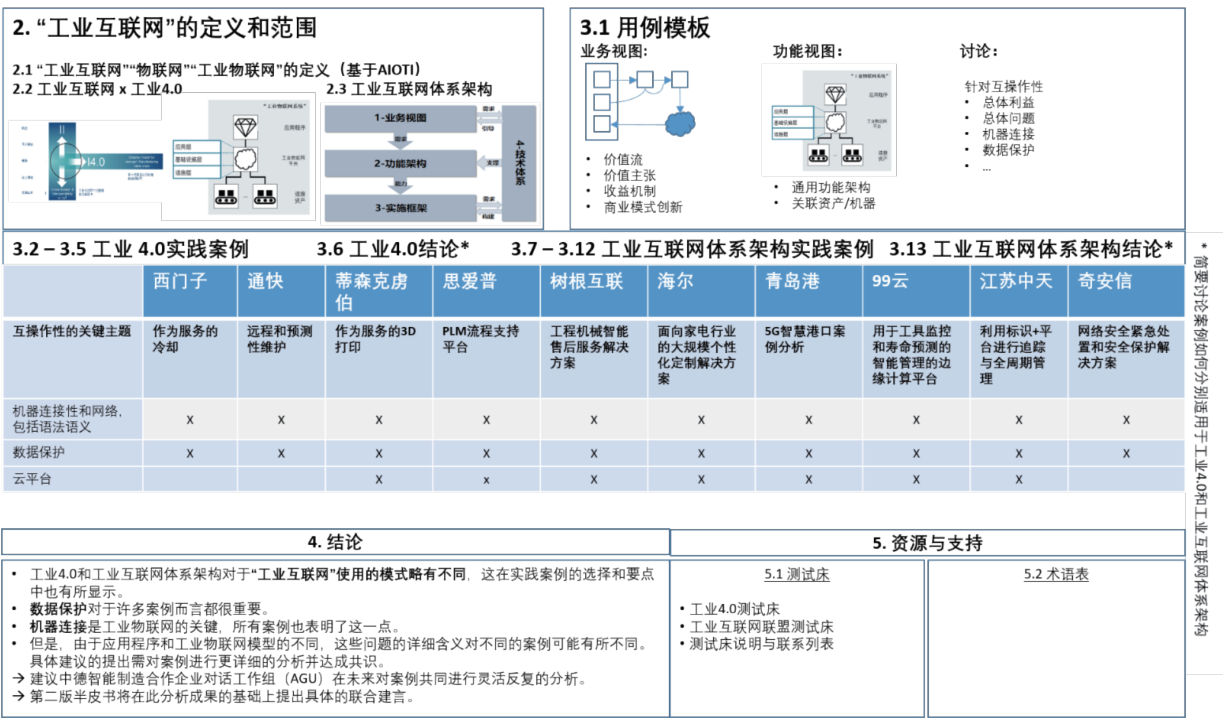


图 7：白皮书概要图解

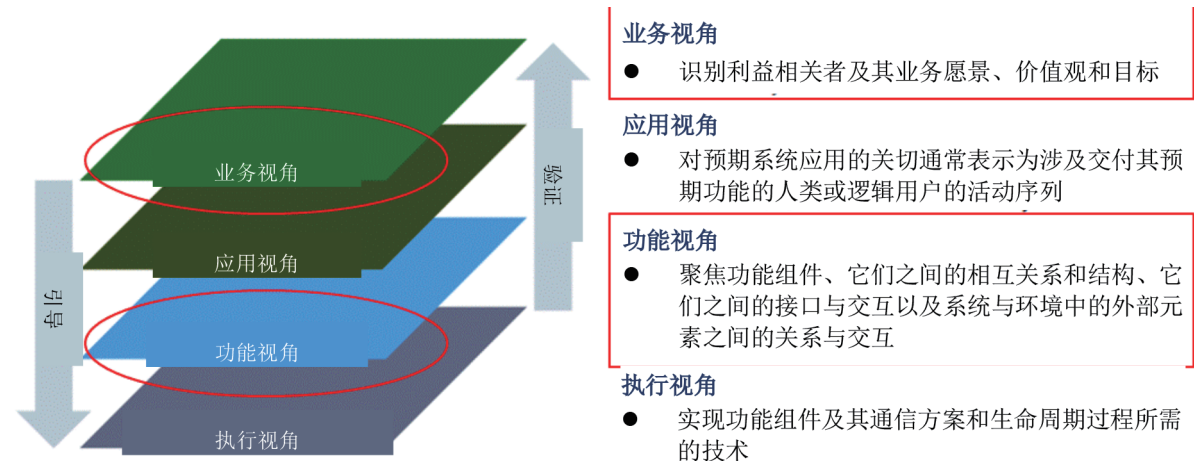
⁴ 剑桥词典，<https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/interoperability>.

3. 实践案例

3.1. 案例分析架构

为使案例描述可比较，工业互联网专家组采用中德工业 4.0 标准化工作组仍在讨论中的通用案例描述⁵。

首先，从工业互联网参考架构（IIRA）中选择两层视角：“业务视角”（Business view）和“功能视角”（Functional view）。



资料来源：IIC

图 8：应用案例分析框架

《应用视角 VBS》（Usage View VBS）中已对应用视角进行概述，中德标准化合作中也对此展开了详细讨论⁶。在业务视角与功能视角中，我们在实践中观察到许多不同的表现形式。因此，本白皮书重点分析这两种视角。

其次，根据工业 4.0 平台以及中德标准化合作中对案例的讨论，应采用一种价值流模型来描述业务视角。图 9 是一个示例。

⁵ 工业 4.0 平台（2017）《遵循 IIRA 结构的工业 4.0 应用场景基于价值的服务的示例》，第 7 页。

⁶ 工业 4.0 平台（2017）《遵循 IIRA 结构的工业 4.0 应用场景基于价值的服务的示例》，第 7 页。

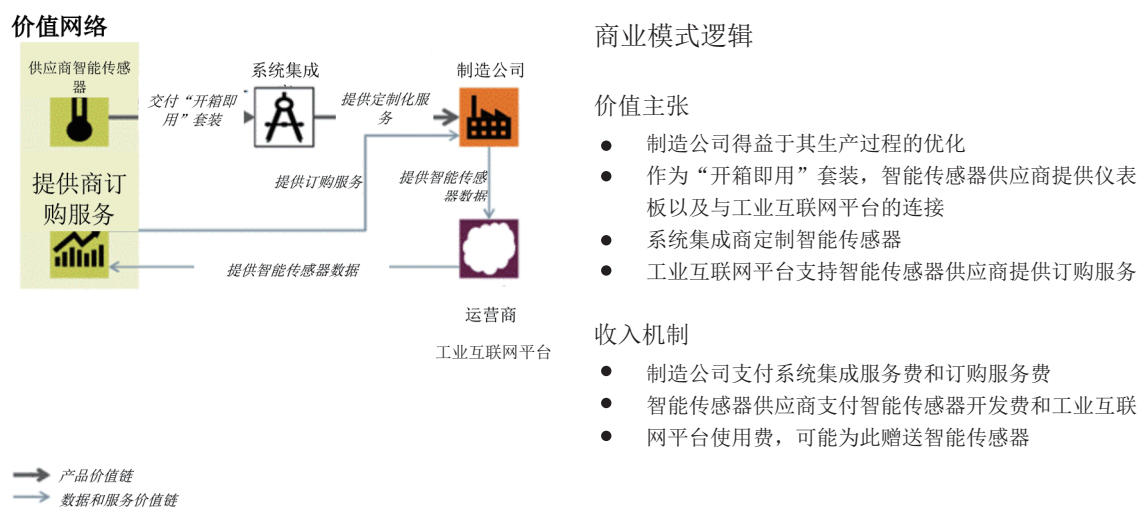


图 9：构架应用示例

价值流程图、价值主张和盈利机制应当是案例描述中业务视角的必备部分。

第三，我们使用第 2.2 章图 3 所示的逻辑来描述功能视角。根据具体案例调整该图解，并展开应用程序、工业物联网平台、连接的资产以及与其相关的问题的讨论。

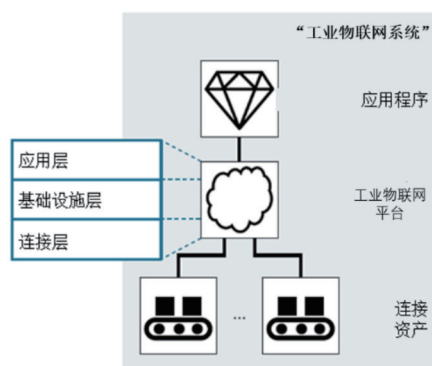


图 10：工业物联网系统不同层次图解

根据具体案例调整该图解，并展开应用程序、工业物联网平台、连接的资产以及与其相关的问题的讨论⁷。

第四，每个案例将讨论面临的挑战、互操作性的含义以及案例的其他要点。

概括而言，我们通过以下架构对案例进行描述：

⁷ 工业 4.0 平台（2018）《讨论报告：基于价值服务的应用场景的使用角度》，第 11，12 页。

1. 案例概述
2. 业务视角
 - 1) 价值流程图
 - 2) 价值主张
 - 3) 盈利模式
3. 功能视角
 - 1) 高层功能架构图
 - 2) 应用程序
 - 3) 连接的工业资产
4. 讨论
 - 1) 总体优势和挑战
 - 2) 聚焦互操作性
 - 3) 其他要点

3.2. 案例“作为服务的冷却”

3.2.1 案例概述

工业自动化设备通常需要封装在箱体机柜内部，保护其免受恶劣工况影响。温控系统能够确保机柜内空气温度保持在规定范围，进而推动机柜内自动化设备可靠运行。但此类温控系统需要定期维护，及时更换空气过滤器。一旦温控系统发生故障，机柜设备就会失去安全保障，极有可能造成设备停机。

德国一家知名的工业机柜和配套温控系统制造商与西门子合作，利用西门子 Mindsphere 平台的数据采集功能监控机柜冷却系统的运行状况，并及时给出故障报警和维护策略。通过这种方法，机柜和温控系统制造商可基于从部署于客户现场的设备中收集到的数据，简化售后服务流程。通过近乎实时获取信息的技术，建立了“产品 + 数据服务”的新型商业模式。

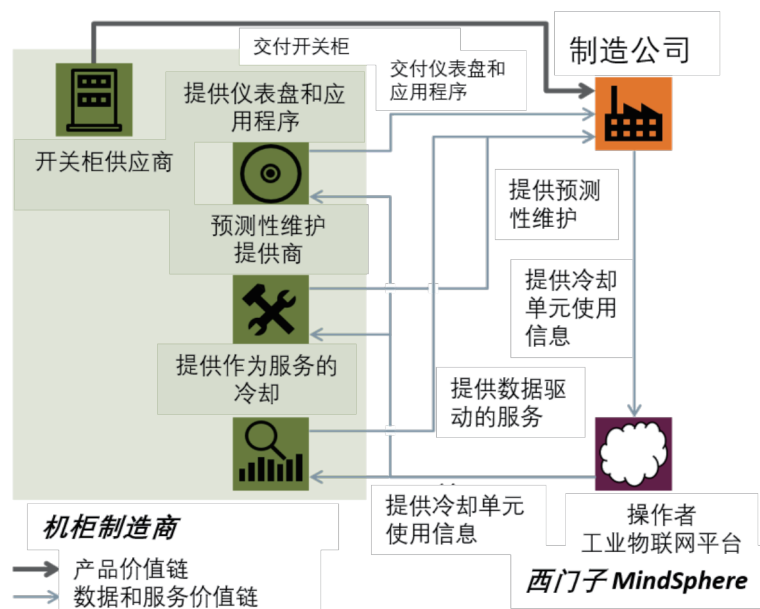


图 11：价值链图示

3.2.2 业务视角

价值主张

在传统商业模式中，制造公司向供应商采购机柜和所需的冷却系统，制造公司可自己开展后期设备维护，也可由机柜供应商提供设备维护。

制造公司能够通过传感器获取设备实时状态，基于仪表板和维护应用程序进行可视化和维护诊断。维护诊断程序可采取两种方式部署，一是在制造公司内部采用私有云部署，二是部署在机柜供应商公有云平台，工业物联网平台运营商确保数据的安全性和可访问性，并提供用于构建应用程序的工具和应用程序编程接口（API），以管理、呈现和分析数据。

盈利机制

机柜供应商向工业物联网平台运营商支付工业物联网平台使用费，并在该平台上构建自己的软件应用程序（仪表板、维护计划工具等）。

在这两种实现途径中，制造公司都可以访问应用程序，利用应用程序优化维护效果。为此，作为售后服务合约的一部分，制造公司通常也需向冷却系统供应商支付服务费。

从制造公司的角度来看，机柜和冷却系统属于辅助设备，与工厂的核心业务几乎无关。因此，制造公司可将温控系统的管理和运行全部外包，并且仅通过订购“冷却即服务”的功能，保证量化指标和可用性即可。这样的服务对制造公司颇有吸引力。

通过应用以上工业物联网服务，机柜供应商能够提供带有“冷却即服务”功能的产品。这种服务需要具备两大基础，一是能够通过工业物联网平台访问所有已部署系统的运行和健康状态数据；二是针对给定的可用性目标，供应商拥有优化维护服务所需的专业知识和经验。最终机柜供应商可能不会向制造公司出售冷却设备产品，而只是出售具有可用性保证的冷却服务。

3.2.3 功能视角

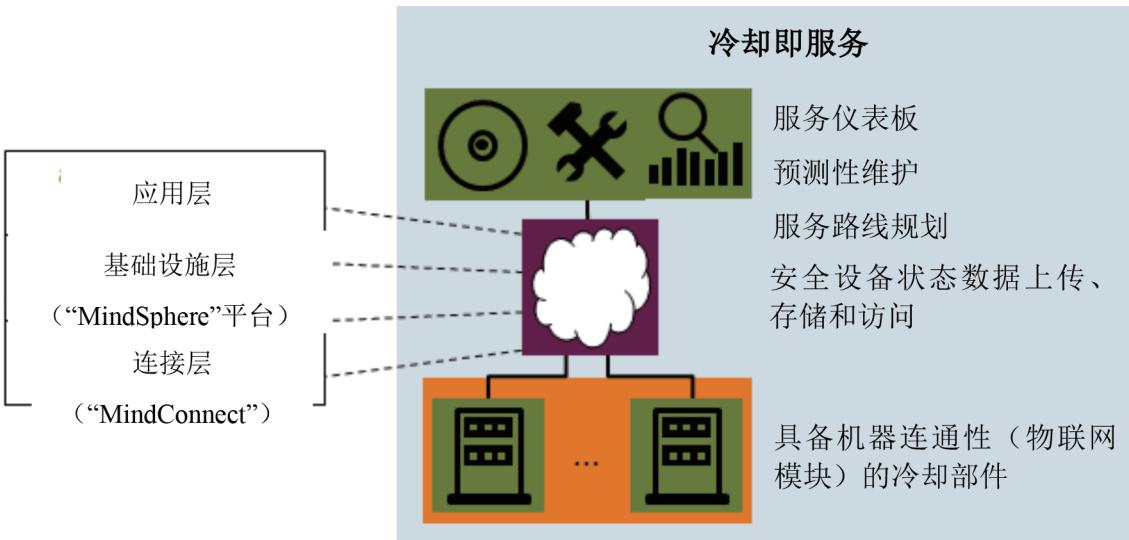


图 12：以工业物联网体系架构呈现此案例

从技术角度来看，上述案例的核心在于能够基于内部温度、压力等传感器实时获取冷却设备状态。连接层负责将冷却设备数据安全传输到工业物联网平台，基础设施层具备永久储存数据的功能，应用层可通过应用程序编程接口（API）访问数据。

基于不同角色向不同用户授予数据访问权限是工业互联网平台的一个基本功能。因此在客户同意的前提下，机柜供应商可以访问客户部署在不同现场的所有装置的数据，而制造公司只能访问自有冷却系统生成的数据。

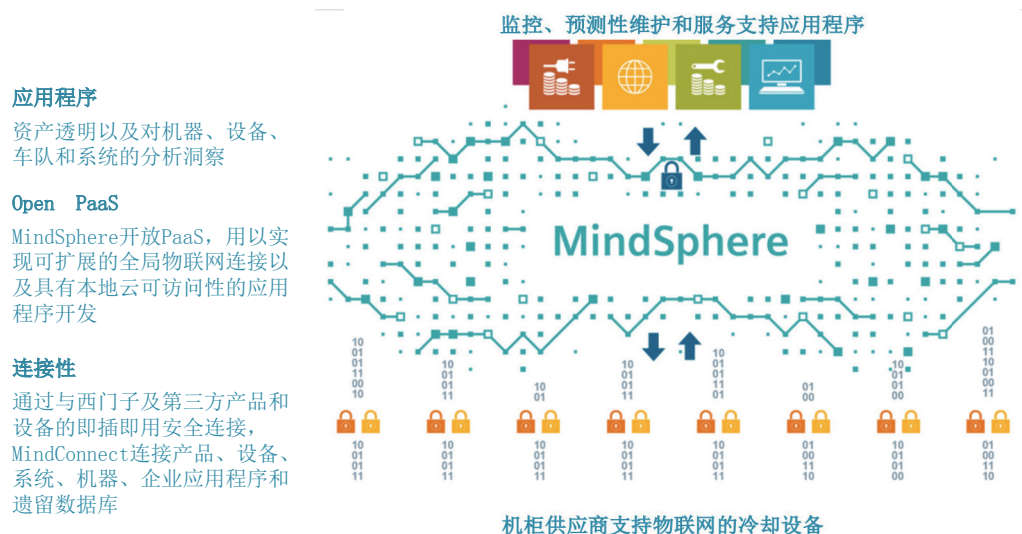


图 13: MindSphere 架构图示

在 MindSphere 平台上，用户可以使用西门子及其合作伙伴的应用程序，也可自行开发应用程序。

PaaS（平台即服务）平台为特定用户开发的应用程序提供了开放式接口，例如可以使用不同的云基础设施进行调整以适应所在国家的国情。

MindConnect 连接层使用开放标准（例如 OPC UA），以支持西门子和第三方产品的即插即用连接，提供安全加密的数据通信。

3.2.4 当前挑战与认识

数据保护

以任何方式将与生产相关的设备连接到互联网都有可能在生产系统中引入安全漏洞，如何将生产相关的数据安全的传输并储存在公共云平台上、以及如何防止此类信息泄露是制造公司管理者最关心的问题。为解决这些关切，不仅需要着眼于设备和工厂网络层面，还需要工业互联网平台运营商采取措施。

机器连通性

用于建立冷却设备连接的物联网的成本（例如用于布线、网关等网络基础设施）和工程工作（例如设备配置入网、应用程序配置等）的增加是当前面对的另一挑战。若以互操作性为重点来设计所涉及的软硬件组件及其交互所用的协议，可显著减少工程工作。

3.3 案例“远程和预测性维护”

3.3.1 案例概述

智能机床具有极高的使用价值，因为工厂一般需要利用机床来生产自己的产品。为此，机床需具备特殊的加工能力，比如切割，冲压，弯曲，焊接，铣削，磨削，钻孔，上漆等。机床制造商则专门负责该设备的生产，并保证机床所需的加工能力。

对于工厂而言，除了精湛的加工能力，机床的处理质量，速度，灵活性，可用性和运营成本也都是重要的选择标准。为了改善机床的加工能力，机床制造商为工厂提供了一系列服务。

为了提供更好的服务，机床必须能够通过安全的工业物联网技术独立地将所需的机床信息发送给机床制造商，以便其监控和优化该机床的运行。

至于设备故障问题，可以通过事前甄别、定期维护优化来避免。

除了预测性维护在内的传统远程维护方案外，工厂还可以按使用型号付费，例如使用机器本身或使用特殊工艺技术数据的费用。

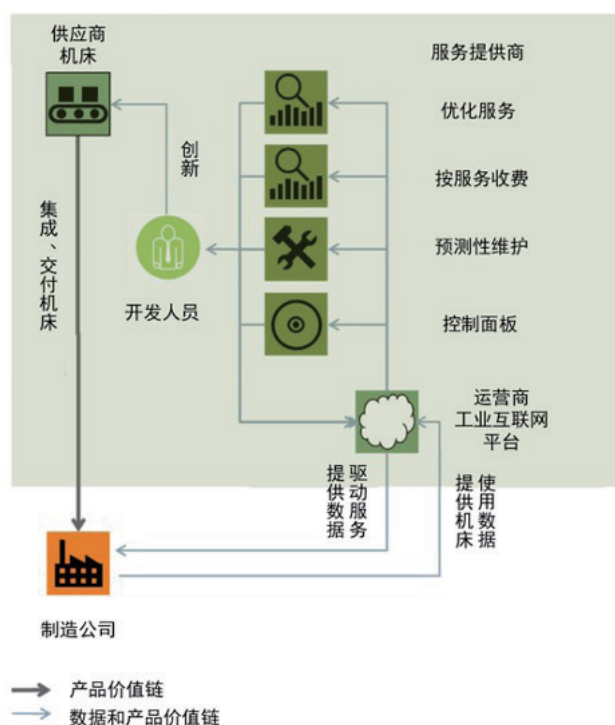
所有服务和相应业务模式都必须基于机床和制造商之间安全的数据传输以及使用。

鉴于此，《欧盟一般数据保护条例》（GDPR）已摒弃对于个人数据的使用。

原则上，机器与机器制造商之间任何形式的数据传输都需要工厂的同意，且工厂可以根据相关合同随时取消该操作。

当然，在未经工厂同意的情况下，数据应仅以加密形式传输，切勿让其他关系方访问。

3.3.2 业务视角



图片 14：附加服务（尤其是优化）需要安全的闭环数据流

价值定位

除了现有的“纯机器销售”业务模式外，机床制造商还提供其他服务和业务模式。

- a) 保证发生故障时及时服务（积极提供远程服务）
- b) 保证可用性（预测性远程服务）

- c) 流程优化（控制面板、AI 系统等）
- d) 按使用付费（基本价格 + 其他服务费用）
- e) 智能工厂（工厂优化）
- f) 其他软件服务，例如生产控制 / 计划。

为此，附加服务要求机床能够通过安全的数据连接将各个应用领域所需的信息独立发送给机床制造商。

通常，数据首先由现有的传感器和控制系统采集本地数据，进行预处理、加密，然后根据需要进行传输。

数据将在机器制造商的数据中心中进行相应处理，并提供给关联的服务提供商。

收入机制

工厂需为机器制造商提供的额外服务付款。通过这些服务，工厂能够根据情境优化操作，机器的可用性和容量利用率通常也会显著提高，从而为工厂进一步优化成本结构。

机器制造商不仅从新服务中获得更多收入，而且还增强了机器和软件产品的竞争力。

此外，机器制造商可以了解客户的真正需求，并进一步开发和优化其产品组合。

3.3.3 功能视角

从技术角度来看，安全的数据连接是上述应用的基础。当然，机器还必须能够从现有的传感器中生成所需的信息并控制数据，然后将其传输给制造商，以供下一步的处理。

除了实际的数据存储和处理能力外，通过人工智能算法建立数据模型知识也至关重要。此外，机器制造商必须按照法律和合同框架条件提供服务。

3.3.4 当前挑战与认识

数据保护

机器与互联网的连接要求数据传输必须满足法律和合同义务。

当然，无论是机器操作员的个人数据还是高度敏感的订单数据，都不应被传输，以避免其他人利用这些数据去复制客户的产品。

同时，还应确保计算机受到保护，防止未经授权的访问（黑客、恶意软件等），尤其是在连网之后。通常，机器制造商应提供基本保护，再由工厂采取的进一步保护措施。

在整个使用过程中，传送给制造商的数据还需要通过最新的 IT 基础设施给予特殊保护。

机器连通性

当前，机器制造商必须与每个客户签订相应的数据使用协议，以便遵守机器连接的法律框架条件。

由于缺乏相关标准，每个机器制造商都有自己的连接解决方案。工厂通常无法评估安全性和数据处理方面所运用的解决方案，因此制定了自己的规则，期望机器制造商盲目遵从。

这种情况下很容易适得其反，机器制造商和工厂不是不允许机器连接，就是双方选择拖延解决方案的谈判。

因此，制定统一的标准和法规符合所有相关方的利益。

3.4 案例“作为服务的 3D 打印”

3.4.1 案例概述

当前增材制造与过程数字化的联系日益紧密且都在不断发展。在此背景下，二者在数据保护、知识产权保护以及数据一致性方面给制造业带来了全新挑战。在增材制造行业中，需要去中心化的解决方案以确保数据主权和数据使用过程的可追溯性。此外在每一个生产步骤中，都必须保证有据可查、质量可完全再现。如今全球制造活动已实现网络化，企业可以在有需求的地方生产零部件，使得制造活动日益分散，满足以上要求更显必要。

近年来，增材制造技术在汽车、航空航天和医疗技术等工业领域保持两位数的增长态势，预计未来几年也将继续保持这一趋势。工业增材制造意味着“重新思考生产”。

工业增材制造市场的不断增长得益于以下三大优势：

- 能够更加高效、灵活、经济地开发组件，赋予新功能，满足新需求。从紧凑型设计到组件内部的成角度构造，再到最小功能结构设计，适用范围十分广泛。
- 能够快速制造备件以满足个性化需求，并在极短时间内交付至世界各地。
- 有可能以经济的方式生产单个零部件和进行小批量生产。迄今为止，这对其他制造过程来说一直是一项巨大挑战。

蒂森克虏伯是德国一家多元化工业集团公司，该公司的增材制造技术中心为工业客户提供工程咨询、设计和 3D 打印服务。客户向工程服务提供商提供例如 CAD 文件的组件方案，对客户公司而言，这些资料为生产特殊零部件奠定基础，是宝贵的知识产权。

IBM 和蒂森克虏伯合作开发了一个平台，可以快速可靠地向客户提供质量过硬且受知识产权保护的工业增材制造零部件。同时，该平台鼓励在可靠可信的生态系统中进行数据共享，从而在制造价值链的所有步骤中实现无缝数据交换。

图 15 显示了该商业模式的价值流和价值主张，以及蒂森克虏伯、其客户和打印中心之间互动的详细步骤。

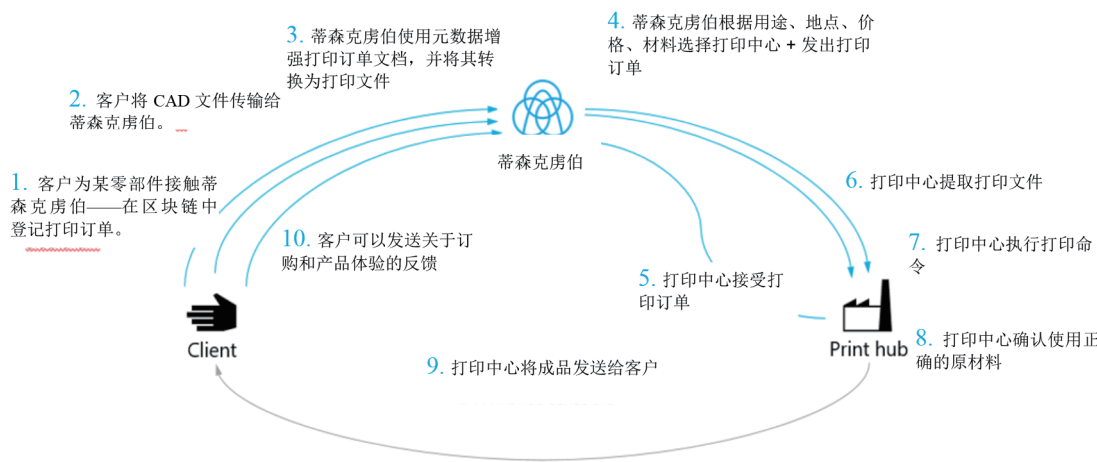


图 15：价值流和价值主张

3.4.2 业务视角

该解决方案的目标是解决三类不同利益相关者的痛点问题，包括客户、增材制造工程服务提供商和增材制造打印合作伙伴，请参见图 16。

图 16 还描述了整个生态系统演变后续步骤中的利益相关者。

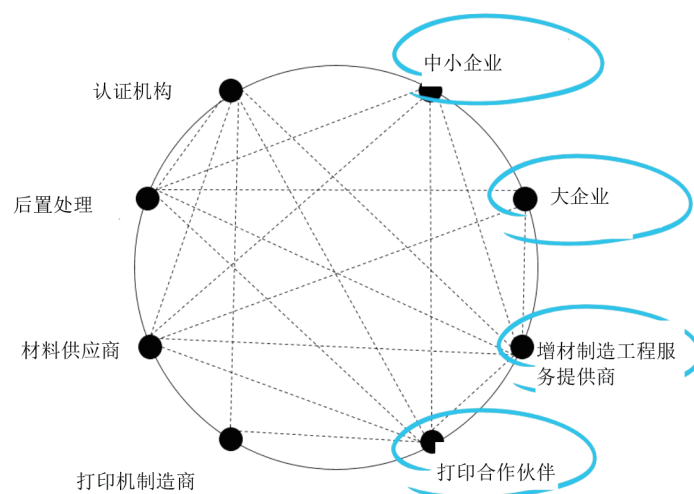


图 16：利益相关者和生态系统

特别是来自中型公司的客户往往无法获得增材制造技术的好处。他们希望确保自己的知识产权（例如 CAD 数据）在整个价值链传输时受到保护。此外客户要求对使用增材制造生产的零部件做出质量保证，因此要求生产过程实现透明化并提供相关详细信息。

目前，工程服务提供商能够获取的客户信息和打印能力都有限。工程服务提供商努力保护客户的知识产权，并在提供可靠过硬质量的同时，希望他们自己的知识产权也得到保护。

增材制造打印服务提供商需要最大限度地利用其打印能力，以此来摊销资产密集型打印机的成本。由于客户要求确保生产透明度和可确定性，增材制造打印服务提供商必须以始终如一的防篡改方式保证其打印工艺的质量。

以上所有需求均要求进行数据和数据主权的保护，并在设计和生产创新工业产品的整个过程中确保可追溯性和一致性。

解决方案的业务目标是为所有参与者提供对工业增材制造生态系统的访问途径，从而轻松出售增材制造服务或从服务中获得优势。为确保达成此目标，IBM 和蒂森克虏伯已开发一个以可靠可信方式共享数据的平台，从而在增材制造价值链的所有步骤中实现无缝数据交换。

此解决方案显著降低了受益于工业增材制造技术的门槛，还将为中小企业客户提供方便的访问途径，鼓励所有参与者共享数据，从而提高所有相关产能、服务及设备的利用率。这样便能够为整个工业增材制造价值链上的各方创造很高的商业价值，使所有客户都可以利用到增材制造的种种优势。

此解决方案为平台的所有用户创造了双赢局面：

- 工程提供商可在全球范围内出售其工程能力
- 打印中心可拥有额外的业务来源
- 终端客户获得所需的解决方案（产品或备件），同时享受最佳工程设计和较短的交付期

收入流：终端客户向工程提供商发出交付产品或备件的订单；工程提供商进行零部件的设计并向经过认证的合作伙伴发出生产订单，一般会选择在终端客户附近经营打印中心的合作伙伴。产品或备件交付后，终端客户向工程提供商付费，工程提供商与经营打印中心的合作伙伴进行利益分成。

3.4.3 功能视角

本案例将国际数据空间（IDS）和区块链技术（超级账本）相结合，所开发的解决方案为实现具有可追溯性和一致性保证的数据无缝共享流通过程奠定了基础。

图 17 是为该案例开发的解决方案架构。

访问通道是安装在利益相关者 IT 系统中的专用网络应用程序（在本案例中，利益相关者是指客户、增材制造工程提供商和增材制造打印合作伙伴）。通过 IDS 连接器实现不同利益相关者的数据传输。集成层包含中间件，中间件将所有访问通道集成到云上的区块链服务中。

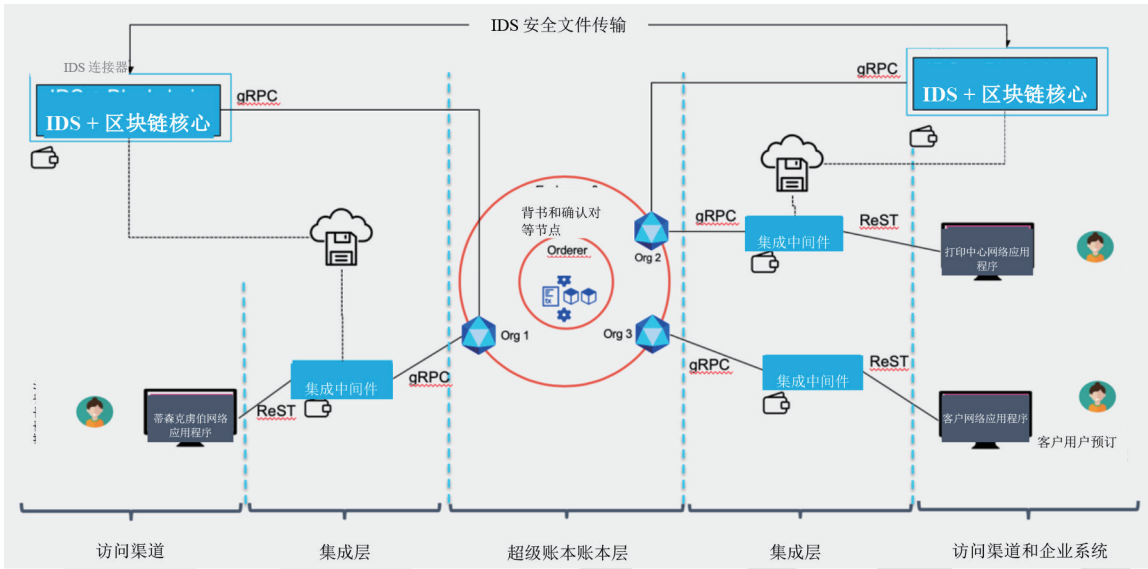


图 17：高层架构

区块链具有不变性、终止性、可追溯性和一致性等特征，在整个价值链生成和处理数据的过程中保证数据的真实性。所有相关数据传输均通过专门构建的 IDS 连接器进行，保证每个参与者的数据主权、公平交换和数据使用，并且建立完全集成的数据使用条款。作为区块链服务的集成功能，智能合约控制着 IDS 连接器。

在图 18 中，数据处理、数据传输和数据存储的不同层级说明了工业增材制造中订单处理的整个流程。值得一提的是，产品数据（例如 CAD 文件）以及与质量相关的处理数据（例如 3D 打印的过程数据）存储在企业 IT 系统上，并通过 IDS 连接器传输，其中包括这些数据的所有使用条款。区块链服务仅记录存储订单处理期间发生的交易信息和相关的噪音信息，由此提供所有的商业和技术信息。

必须指出的是，这里描述的解决方案从需求定义开始的，通过过程定义，再到整体布局 and 实现，每个环节均以非常通用的方式进行设计，这样有利于在其他工业制造过程的应用普及，从而推进制造业的全面数字化。

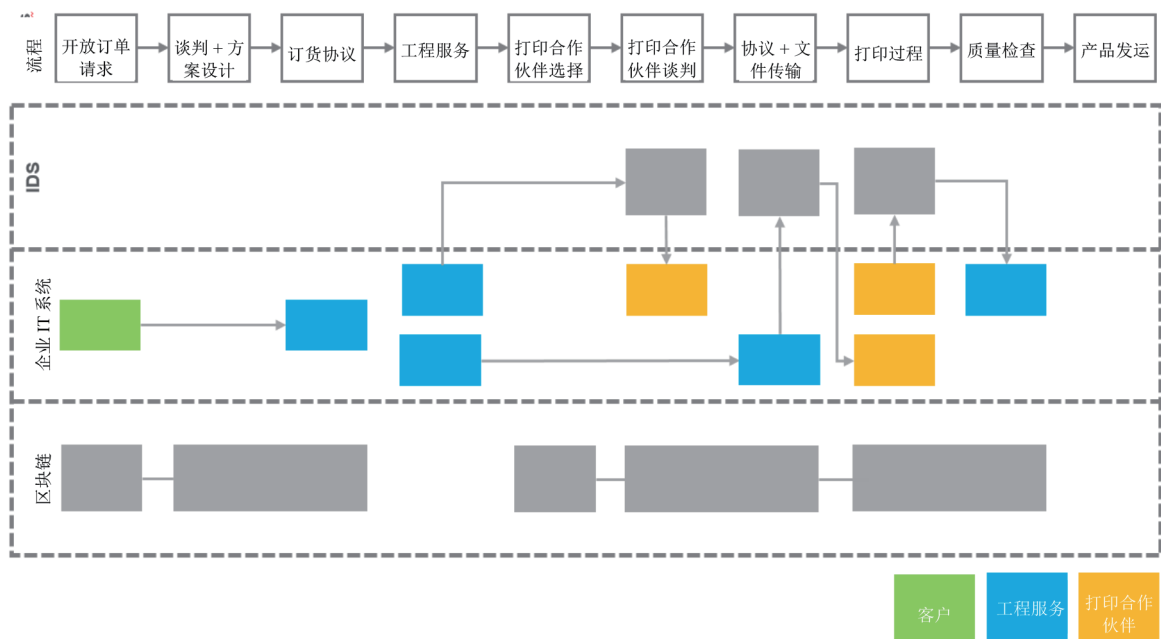


图 18：高层架构、分层架构元素和流程描述

3.4.4 当前挑战与认识

该案例解决了当前许多挑战和认识。

数据保护、数据所有权

在今天的互联网中，数据一旦被共享，数据生成者就会失去对数据的所有权控制。国际数据空间允许向数据添加软件可读合约，通过合约数据生成者可以对数据接收者如何使用数据、数据的有效期有多长、为使用该数据所需支付的价格以及与数据使用相关的其他要求进行规定。

数据完整性

在共享数据时始终存在数据被意外更改的风险。区块链允许在中立实体中记录数据共享过程的所有属性信息，以此保证即使在发送给多个用户时也能够确保数据完整性。

无缝虚拟价值链和无缝产品生命周期管理（PLM）

生产过程的专业水平日益提高，这一事实意味着，企业之间的合作需求愈发迫切。而潜在的合作伙伴可能位于不同的地点，因此需要建立案例中所描述的无缝虚拟价值链。工业增材制造平台即可提供相关解决方案，从客户询价、技术和商务谈判的第一步到增材制造过程，直至最终交付。

标准化“云到云”通信和机器连通性

如今，各个云提供商均提供用以访问云服务的专业界面。为了确保不同供应商的云之间的互操作性，需要用到云到云通信的标准化接口。国际数据空间协会（International Data Spaces Association）在全球拥有 100 多个合作伙伴，这些合作伙伴正在建立通用标准。

在即将发布的 DIN SPEC 27070 中将会对该标准作专门说明。当前 ISO 标准化过程已经启动。

3.5 案例“机械行业端到端集成 PLM 流程”

3.5.1 案例概述

该案例展示了机械和零部件行业在运营与业务两大领域之间的集成相通，涵盖设计、计划、制造、交付和运营等过程，因此被称为“从设计到运营（D2O）”。

对机械和零部件制造商而言，工业互联网通过运用具有高级分析功能的嵌入式传感器将制造商的产品与产品运营商连接，并将设计过程与制造和交付过程打通，以使制造商能够实施包括设计、计划、制造、交付和运营在内的端到端闭环处理，最终达到智能决策。

D2O 场景适用于机械和零部件行业，此场景将设计、计划、制造、交付和运营环节打通：

- 设备运行时信息能够反馈给新设计的智能机械产品，并改进设计过程
- 利用共享信息，能够优化产品制造
- 对通过多模式、全渠道进行交付的物流过程进行协调
- 可以监控和模拟经营性资产的售后维护和服务（运营）
- 端到端供应链中的综合业务计划流程（PLAN）能够提高效率

该解决方案不仅将资产运营者、资产生产者和服务提供者整合在一起，而且打通了运营功能（预测、优化、监控和诊断、供应和部署及资产管理）和业务功能（设计、制造、计划和交付）。

3.5.2 业务视角

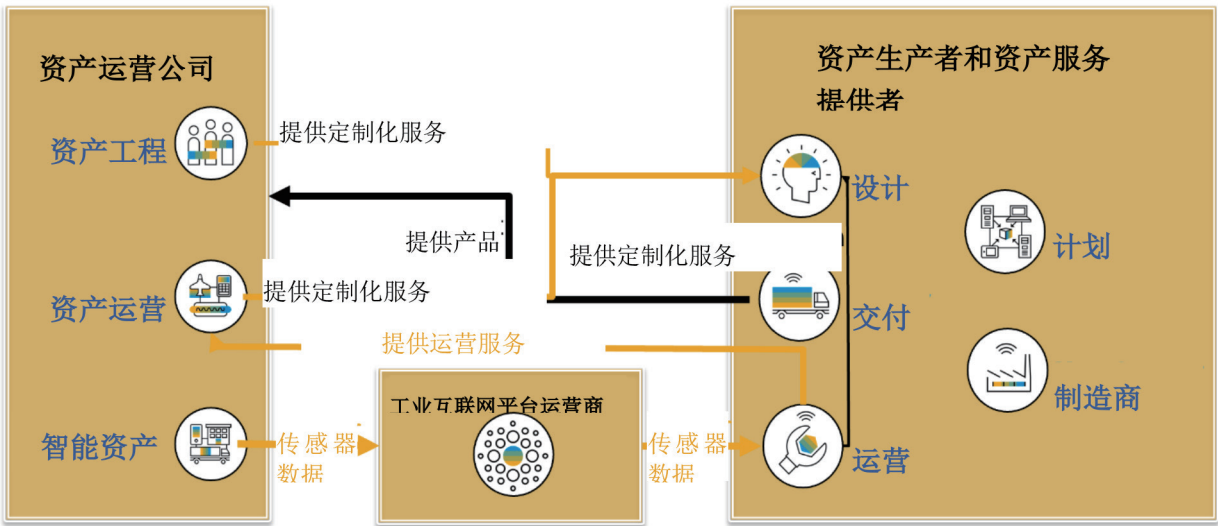


图 19：价值网络

商业模式逻辑

机械和零部件制造商将产品视为资产，而工业互联网能够为智能资产提供远程服务，因此制造商将升级为资产生产者和服务提供者，并重新构建业务流程：

- 在运营阶段，资产运营公司使用的智能连接产品（即智能资产）通过工业物联网平台将传感器数据发送给资产服务提供者，工业物联网平台则提供基于仿真的数字孪生体，以模拟主要智能资产。因此，资产服务提供商可以基于传感器监控和分析资产健康状况，可以使用机器学习获得健康指标，可以使用仿真进行假设模拟，以优化资产运营。

- 在设计阶段，利用智能资产的运行时信息和数字模型，资产提供者的设计部门可以在数据洞察的基础上获得资产的新特征，即新的产品设计理念。例如，某机械公司通过对传感器数据的洞察发现零部件之间的力冲突，然后提出新设计想法，并模拟以检查是否存在力冲突，从而优化新产品。新产品降低了能耗成本，延长了使用寿命。
- 设计完成后，将设计数据与计划、制造和交付数据集成，实现高效制造和交付，最终将产品（包括新一代产品和成熟产品）交付给资产运营公司。
- 产品交付后，可以对智能产品进行监控，同时还可利用所收集的信息优化资产维护和服务。

价值主张

- 预测智能产品的真实状态，帮助资产运营公司实时优化产品性能，从而提高资产效率。
- 为资产生产者和资产服务提供者优化实物资产、系统和制造流程的运行和维护，以获得新的收入流。
- 在产品被目标资产生产者和资产服务提供者部署用于特定用途和操作之前，开发和优化产品以提高新产品设计效率。

盈利机制

- 资产运营者和资产服务提供者可以通过工业物联网平台将智能资产进行连接。通过利用平台的智能技术，资产管理者可以提高资产回报率并减少事故，因此资产运营者支付工业物联网平台使用费。智能资产运营是资产生产者使用工业物联网获得的新收入，因此资产生产者和服务提供者支付工业物联网平台使用费。
- 资产运营公司需要支付产品费用。产品是定制的，所以产品将产生额外费用。资产运营公司还需支付运营服务费。
- 在该案例中，一些合作伙伴提供专业服务，例如仿真服务、数据分析服务等，还有一些服务开支，为了简化案例，我们没有全部列出。

3.5.3 功能视角

D2O 高层功能构架

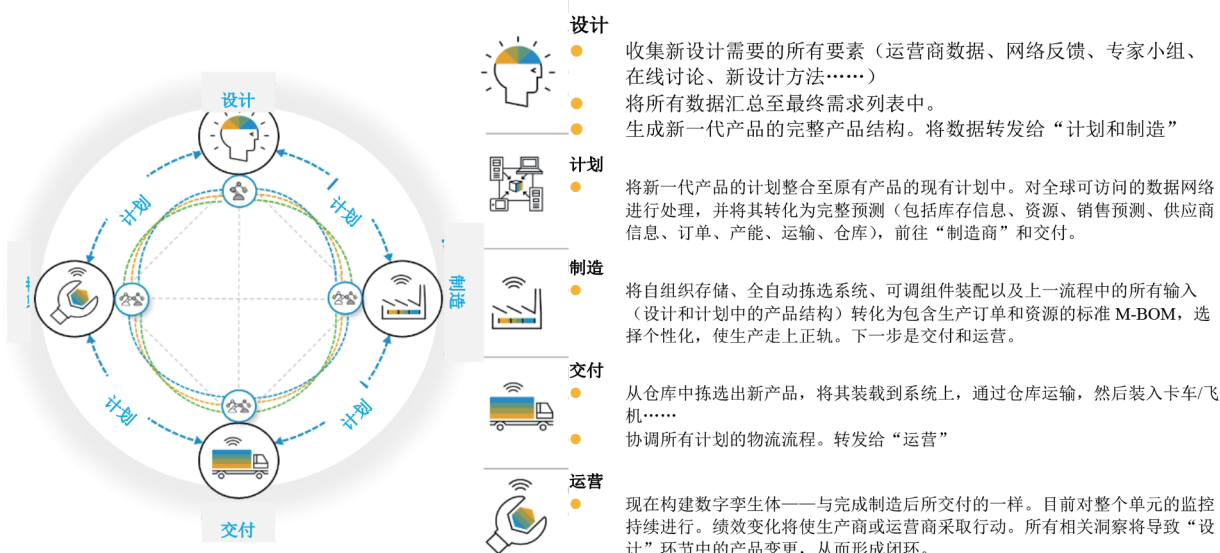


图 20: D2O 的高层功能架构

D2O 场景将传统供应链向前扩展到设计，向后扩展到运营，打通从设计到运营的整个价值链。

该解决方案通过以下方式实现快速决策：在协作环境中建立开发伙伴网络；协调向制造过程的可视化、有引导的移交；通过数字线程跨域同步数据；实现来自产品生命周期内任何环节的运营设计反馈。

高层组件架构

D2O 案例依赖与智能资产的连接来提供运营服务，并且反馈产品运行时数据，以改进产品设计过程。工业物联网平台为资产运营公司和资产运营服务提供者提供数据连接服务。

工业物联网平台可以通过 HTTP/MQTT 协议或通过物联网网关适配器直接连接设备，实现支持更多通信协议，如 Modbus、OPC UA 等，也可以通过支持以下协议的物联网边缘网关连接设备：HTTP/MQTT、File、COAP、SNMP、Modbus、OPC UA、Sigfox 等。

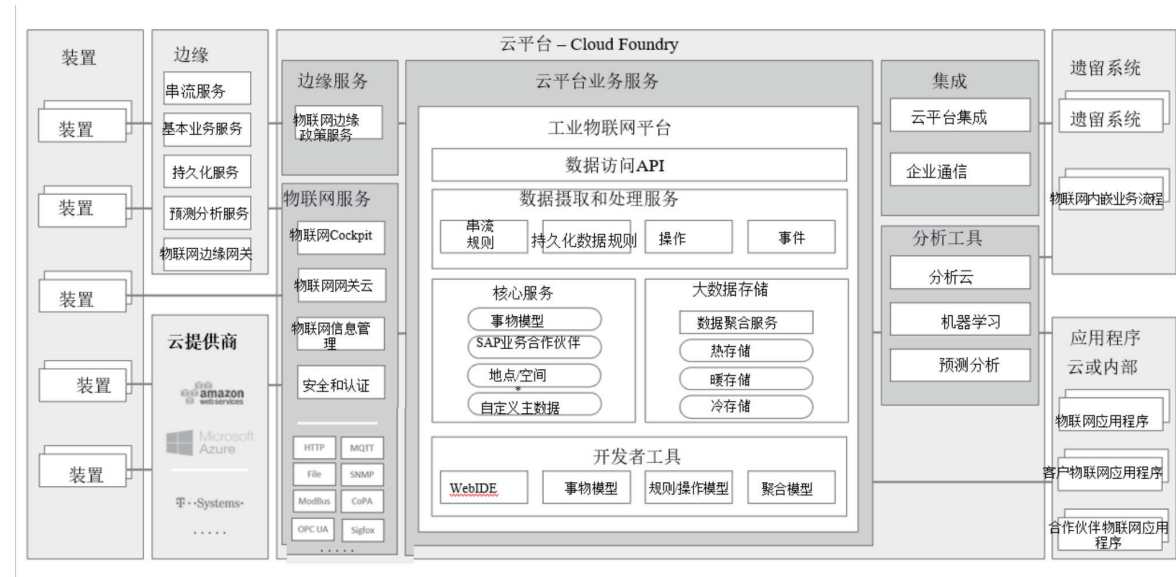


图 21: 高层组件架构

在 D2O 案例中，资产生产者和资产服务提供者可以直接在工业物联网平台上开发应用程序，也可以在内部开发程序并与工业物联网平台集成。工业物联网平台提供集成和开发工具，以支持与老旧系统的集成，并实现与其他应用程序的互操作。

3.5.4 当前挑战与认识

数据保护

本案例在工业物联网平台上的数据使用符合内部政策审批和外部规定：

- 法规
- SAP 数据保护政策
- 条例
- 流程文件
- 行业标准
- 年度审计

SAP 使用数据保护管理系统（DPMS）保护所有主要数据。数据保护管理系统实现并保持有效、适当的数据保护和隐私级别。每年对数据保护管理系统的整个应用流程进行内部和外部审计。

机器连通性

该案例使用两种方法将平台与设备连接：**边缘服务**和**物联网服务**。

边缘服务通过**物联网边缘网关**连接设备。物联网边缘网关支持 HTTP、MQTT、File、SNMP、ModBus、OPC UA、CoPA 标准。

物联网服务提供更多协议适配器以连接设备，其中包括支持以下协议的适配器：HTTP、MQTT、File、SNMP、ModBus、CoPA、OPC UA、SigFox 等。

OPC UA 是工业和物联网领域最流行的机器连通标准，是实现机器连通性的理想选择。物联网平台现在支持 OPC UA（标准），还支持所谓的经典 OPC 技术（OPC DA、OPC HAD、OPC A&E）。

无缝 PLM

D2O 案例演示了端到端集成，其中包括从设计到运营的过程，着重演示了 PLM 与供应链之间的连接，以及 PLM 与运营之间的连接。

资产生产者可以通过利用物联网技术获取资产运营阶段的实时运行时数据，并利用大数据分析技术从运行时数据中获取市场需求。因此，运营数据可以是 PLM 的输入。

可在设计阶段从 PLM 系统中转换出制造阶段的物料清单和布线数据，这些数据是 PLM 的输出。

本案例展示了从设计、计划、制造、交付和运营全流程的闭环优化过程。

3.6 从工业 4.0 视角讨论案例 3.2 - 3.5

本章所描述的案例分别说明在应用视角下，工业互联网（其提供了资产到平台及应用程序安全、灵活的连接）的不同应用。“作为服务的冷却”（Cooling as a Service）说明工业互联网如何创造新方法，以帮助机柜制造商向使用机柜的制造公司提供电气机柜冷却服务。能够连接到不同制造环境中的资产并保护终端客户的数据至关重要。

“远程和预测性维护”（Remote and Predictive Maintenance）讨论如何在国际环境中向多个客户公司提供服务。在该案例中，除了需要能够连接到不同环境中的资产外，对跨境通信中的数据保护也提出重要要求。

“作为服务的 3D 打印”（3D printing as a Service）介绍一种将没有 3D 打印设备的客户与打印中心连接的服务。在该案例中提出了数据保护、数据所有权和知识产权保护的另一个方面，即公司同意对与竞争性相关数据进行有控制地共享和发布。

“机械工业的端到端集成 PLM 流程”（End to End integrated PLM process of Machinery Industry）将资产的优化运营嵌入到互联网支持的 PLM（产品生命周期管理）流程中，后者支持工程和设计等流程。

3.7 案例“工程机械智能售后服务解决方案”

3.7.1 案例概述

树根互联服务的某全球领先工程机械制造商业务涉及混凝土机械、挖掘机械、起重机械、煤炭机械等多个领域，经销网络覆盖全球 100 多个国家和地区。

该企业生产的装备销往全球各地，且大多数工程机械装备作业环境复杂，后市场服务面临两大痛点：

从制造商的视角来看，传统人力售后服务不能实时了解设备运行情况，难以预先调配服务资源，及时响应设备运维；从工程机械终端客户角度来看，当前人力管理设备和机队的效率低下，维保不及时导致故障停机时间长、设备使用寿命短。

树根互联工业互联网平台智能后市场服务解决方案有效的解决了上述业务痛点，同时实现了工程机械制造商、终端客户和平台企业三方共赢。

3.7.2 业务视角

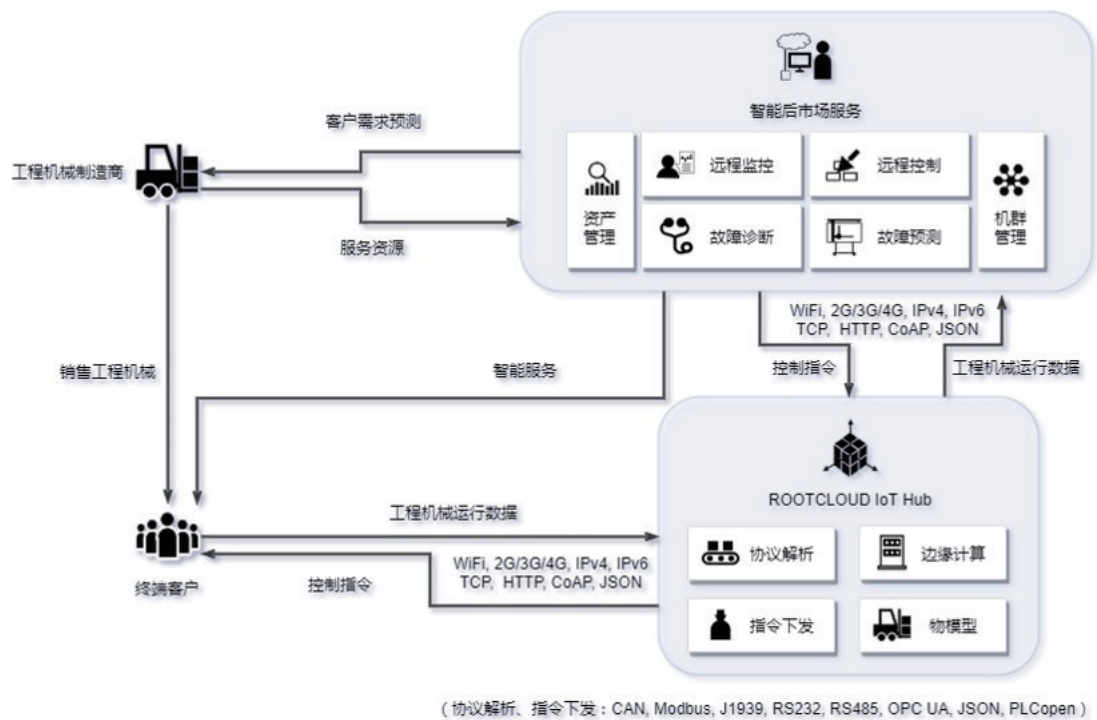


图 22：工程机械智能售后服务解决方案案例价值链

智能后市场服务解决方案价值链涵盖了工业互联网平台服务商、工程机械终端客户与工程机械制造商三方。一是面向工程机械终端客户，该解决方案减少设备故障停机时间，提高利用率，有效提升了用户应用设备的绝对价值。二是面向工程机械制造商，该解决方案使制造商由“卖产品”向“卖服务”转变，产品运维的增值服务为其带来更多用户市场。三是面向工业互联网平台企业，平台企业在为工程机械制造商和终端客户提供服务的过程中，能够持续获取可观收益。

3.7.3 功能视角

在该解决方案中，树根互联通过车载物联模块与工程机械控制器连接，实时采集各品类设备运行的各项参数，如地理位置信息、发动机数据、设备运行状况信息等，并将数据传至 IoT Hub 进行存储和实时分析。基于以上数据流动解决方案，树根互联平台提供六种工程机械后市场服务：

一是资产管理，包括设备图册、配件、操作保养手册、基础信息在内的设备档案管理，以及包含保养计划、保养提醒和维保记录功能的设备维保管理。基于资产管理功能工程机械终端客户可以实现设备信息的统一管理。

二是远程监控，对设备工况数据进行实时监控，包括设备整体及零部件运行状态、设备运行轨迹、作业量、故障信息等。基于远程监控功能工程机械终端客户可以随时随地查看设备工作状态，合理优化设备作业量。工程机械制造商通过获取设备数据，及时了解异常设备地点及状况，为服务工程师维修提供依据。

三是故障诊断，根据预先设定的故障诊断规则对非法操作、偏离预定位置等异常行为进行实时报警，同时提供一键智能派工服务。基于智能故障诊断功能，工程机械终端客户可以对各类设备异常状况及时处理，合理安排维修或保养，减少设备停机时间，延长使用寿命。

四是故障预测，对设备整机和零部件工况数据、使用数据等技术参数进行大数据分析，并结合配件更换记录、历史故障记录等信息，综合评估设备实时运行状况，有效实现了预测性维护。基于故障预测功能，工程机械制造商可以合理调配服务资源，提升售后服务效率，并准确预测配件需求从而有效降低库存成本。同时增加配件销量，提升维保服务收入。

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

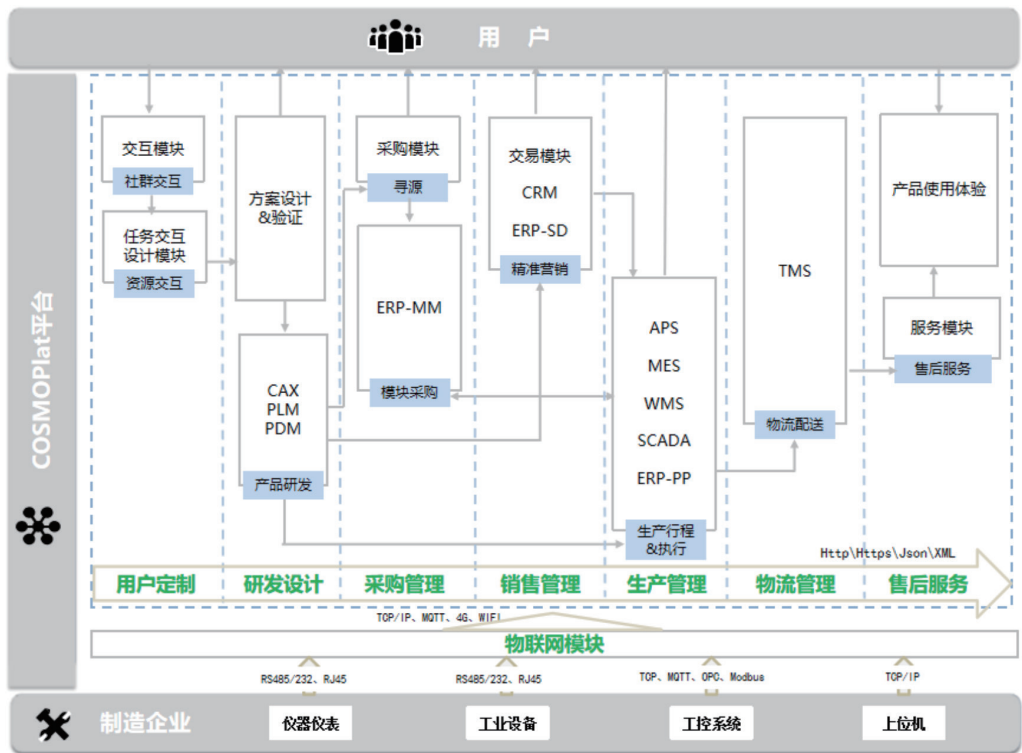


图 23：面向家电行业的大规模个性化定制解决方案案例价值链

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

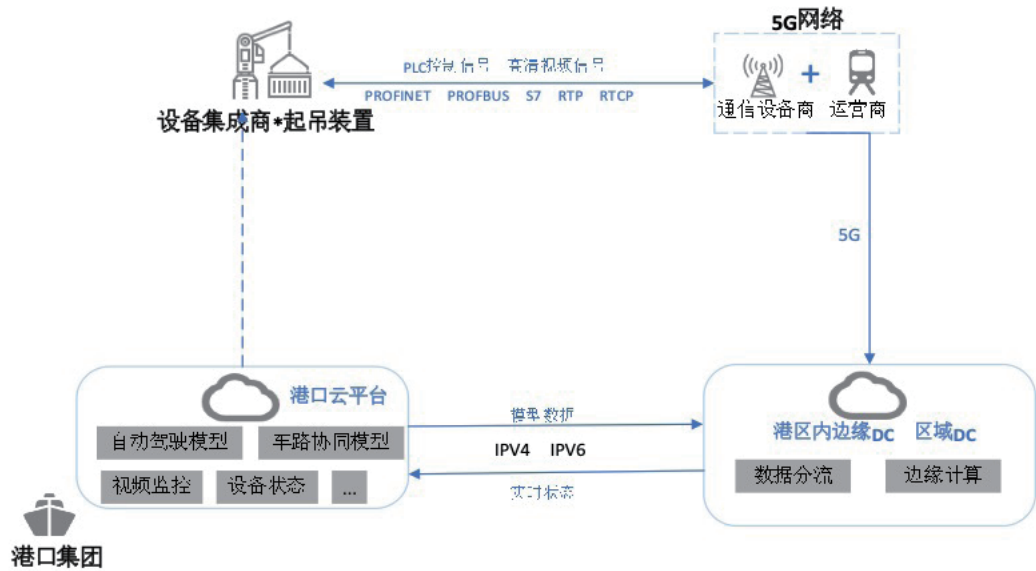


图 24：基于 5G 的智慧港口数据价值链图

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。设备集成商通过该云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

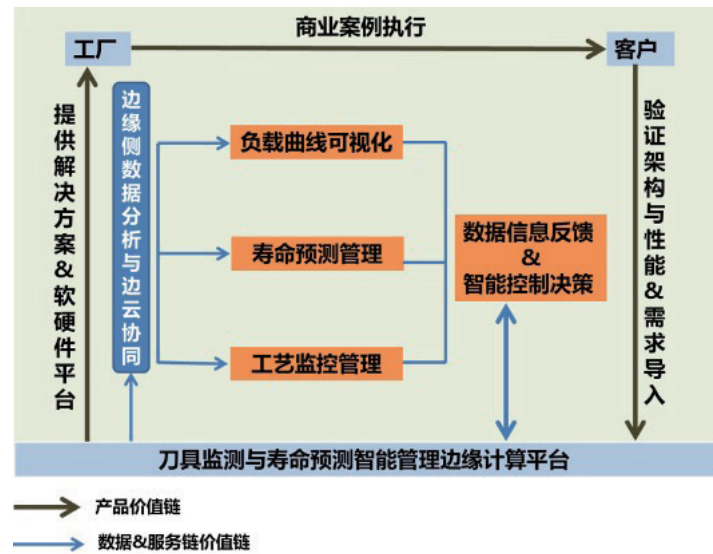


图 25：工具管理与生命预测智能管理边缘计算平台价值链

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. 通过边缘测负载数据收集，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

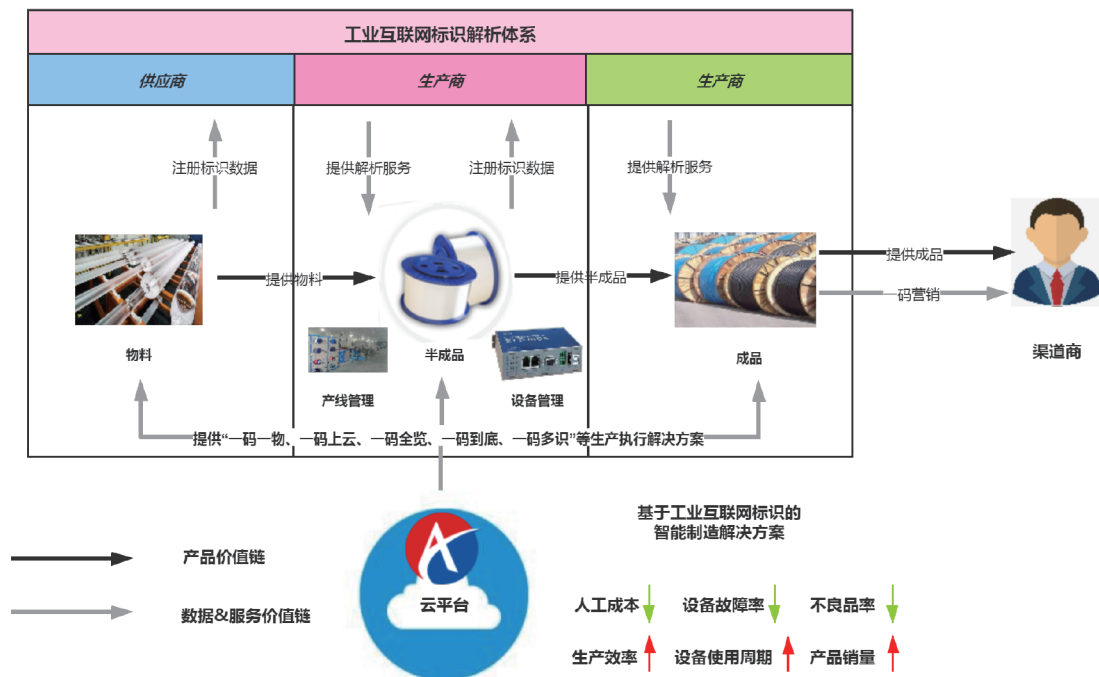


图 26：工业互联网标识符解析系统价值链

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，达到资源最充分利用的目的。

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：

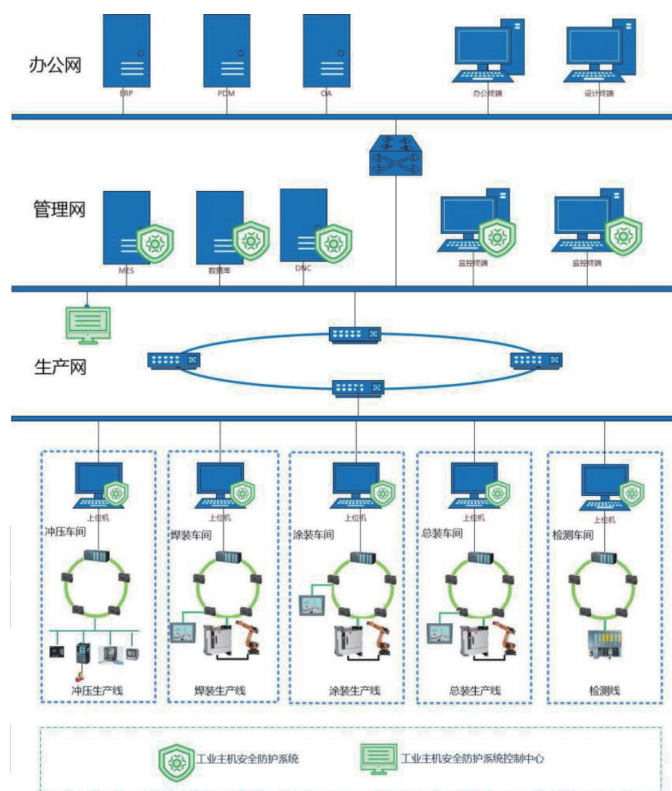


图 28：工业主机安全防护部署示意图

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。

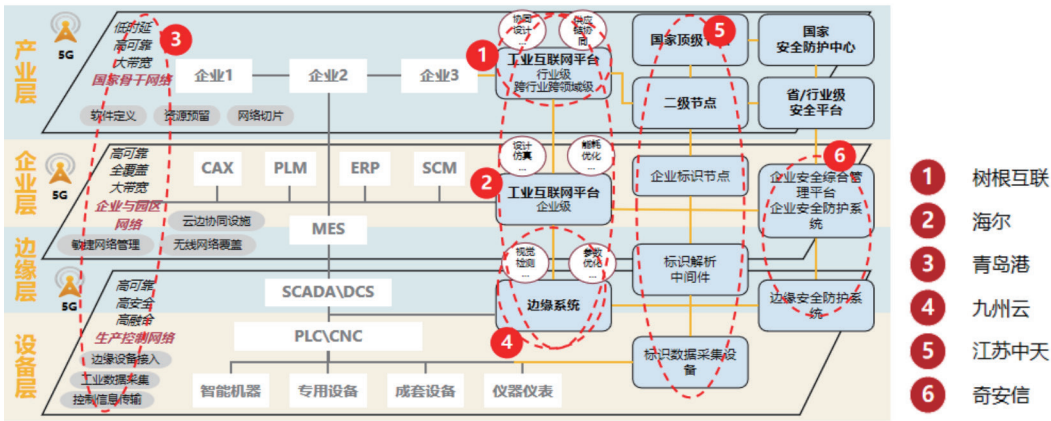


图 29：中方实践案例总结

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

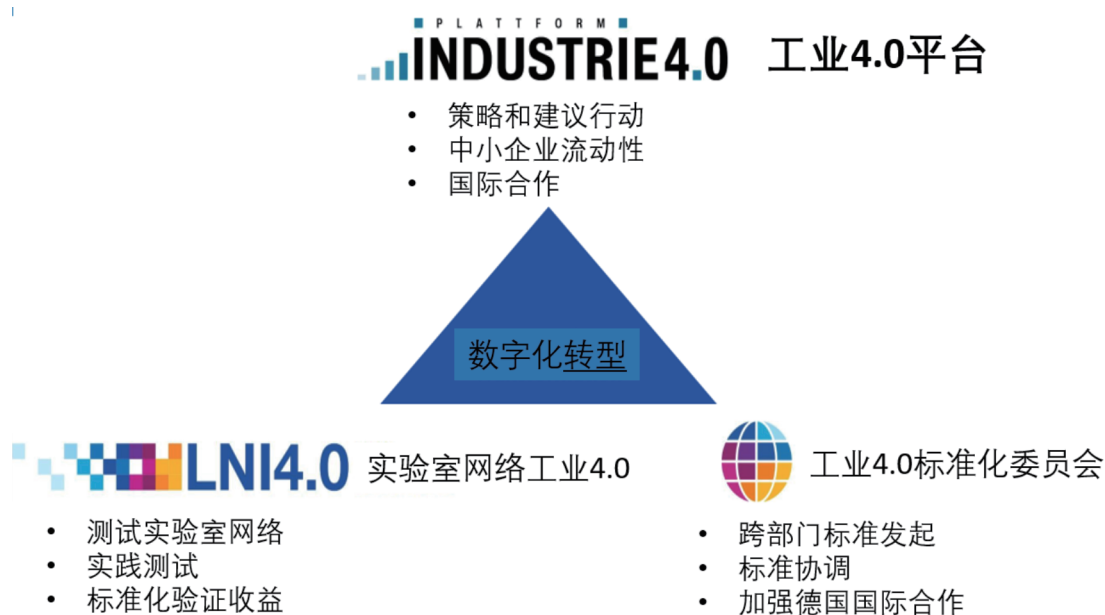


图 31：工业 4.0 平台测试床

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。

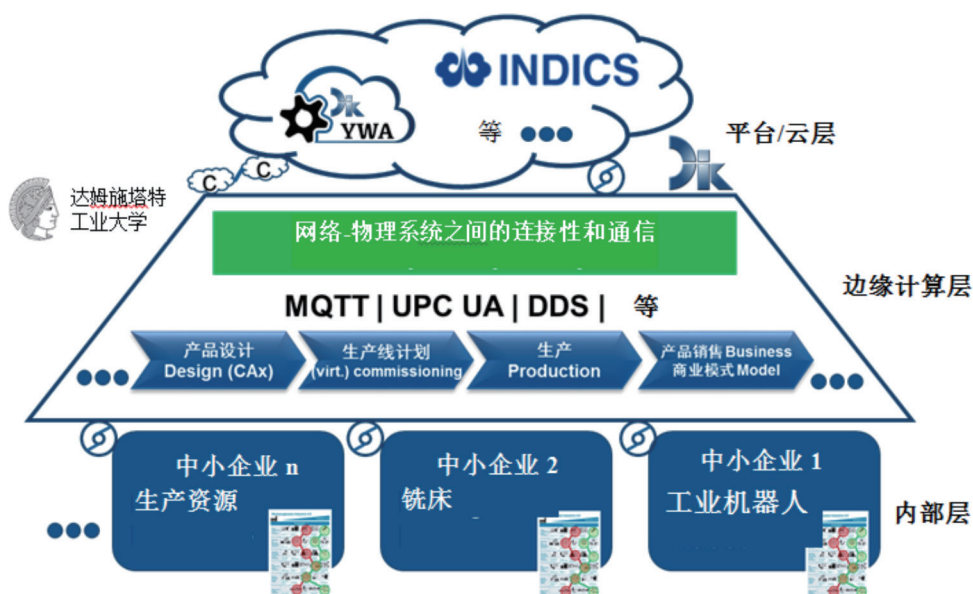


图 32：达姆施塔特工业大学测试床

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。

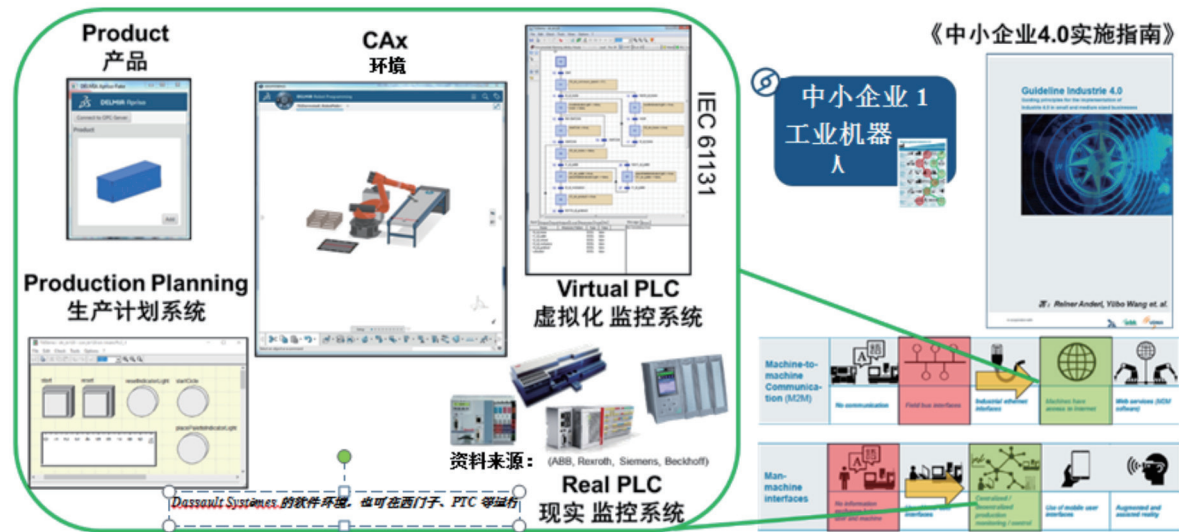


图 33：中小企业 4.0 实施指南

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

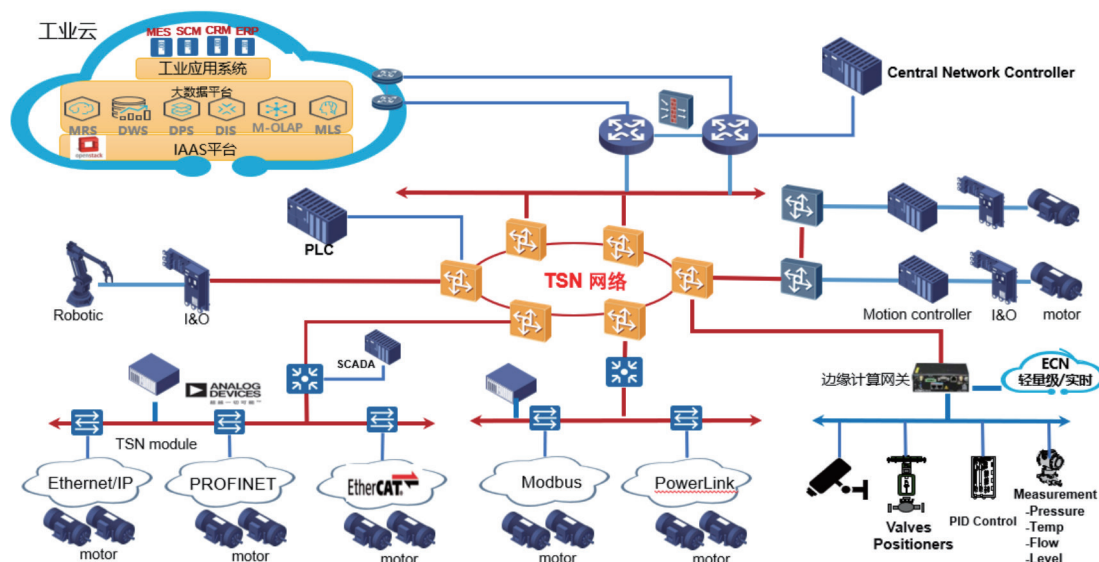


图 34：工业互联网网络测试床平台

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

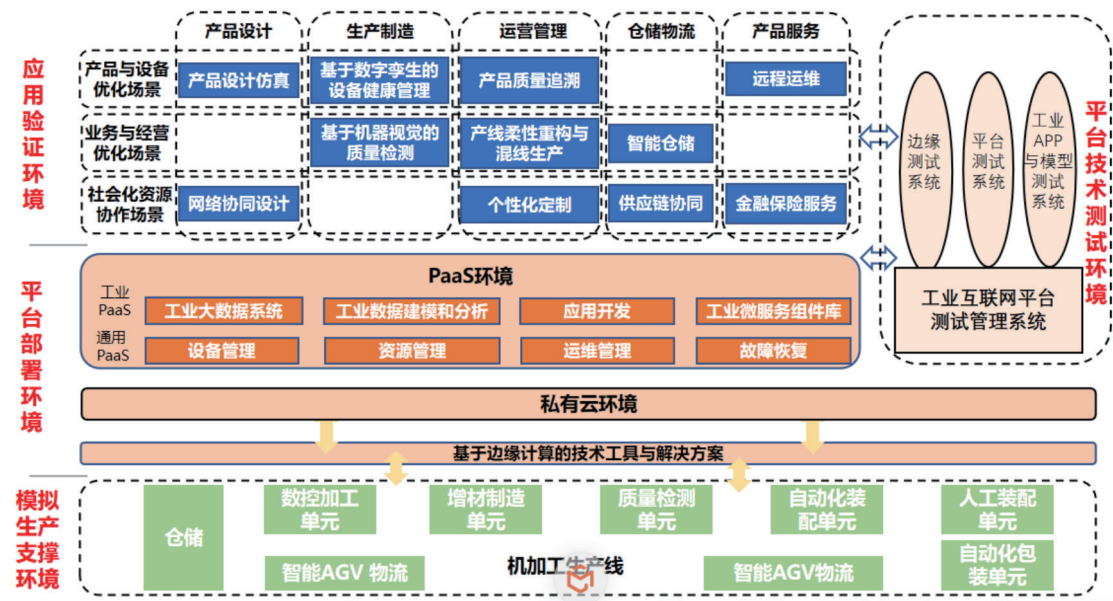


图 35：工业互联网平台测试床架构

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层通过构叠加大数据处理、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”的平台全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

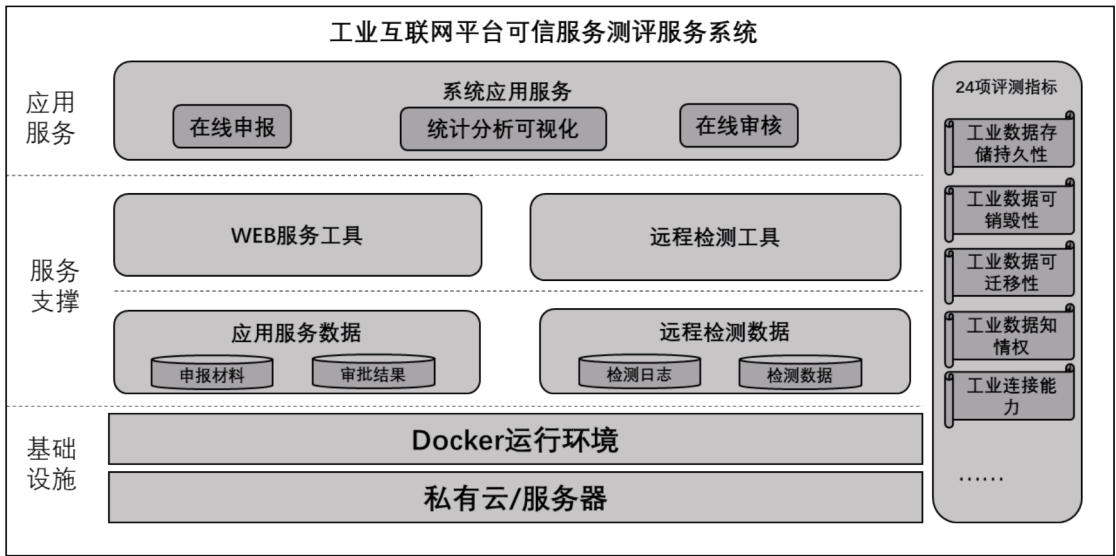


图 36：工业互联网平台可信服务测评服务系统架构图

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。

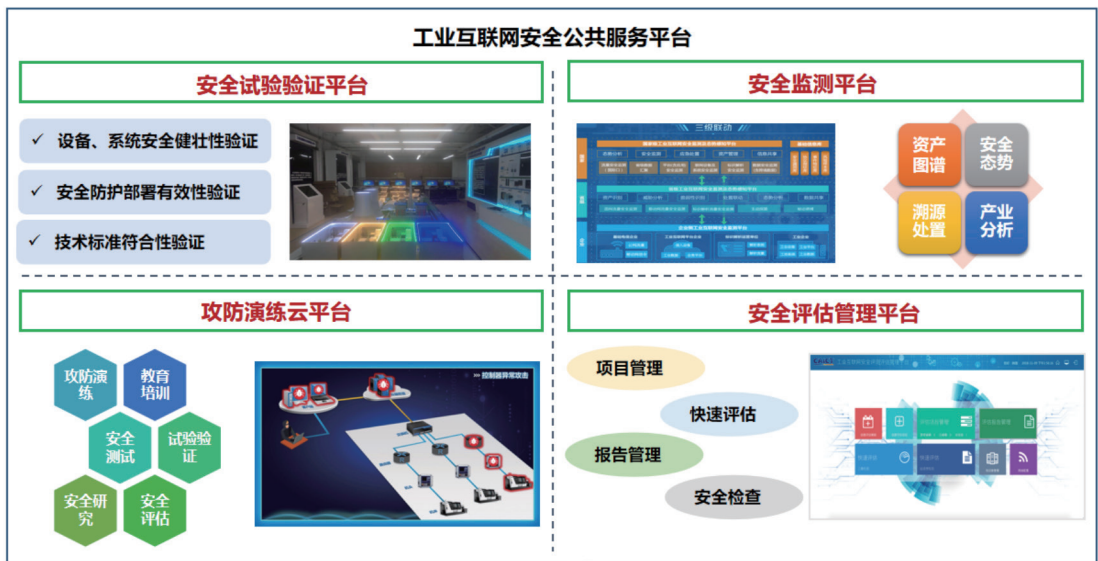


图 37：工业互联网安全公共服务平台功能图

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

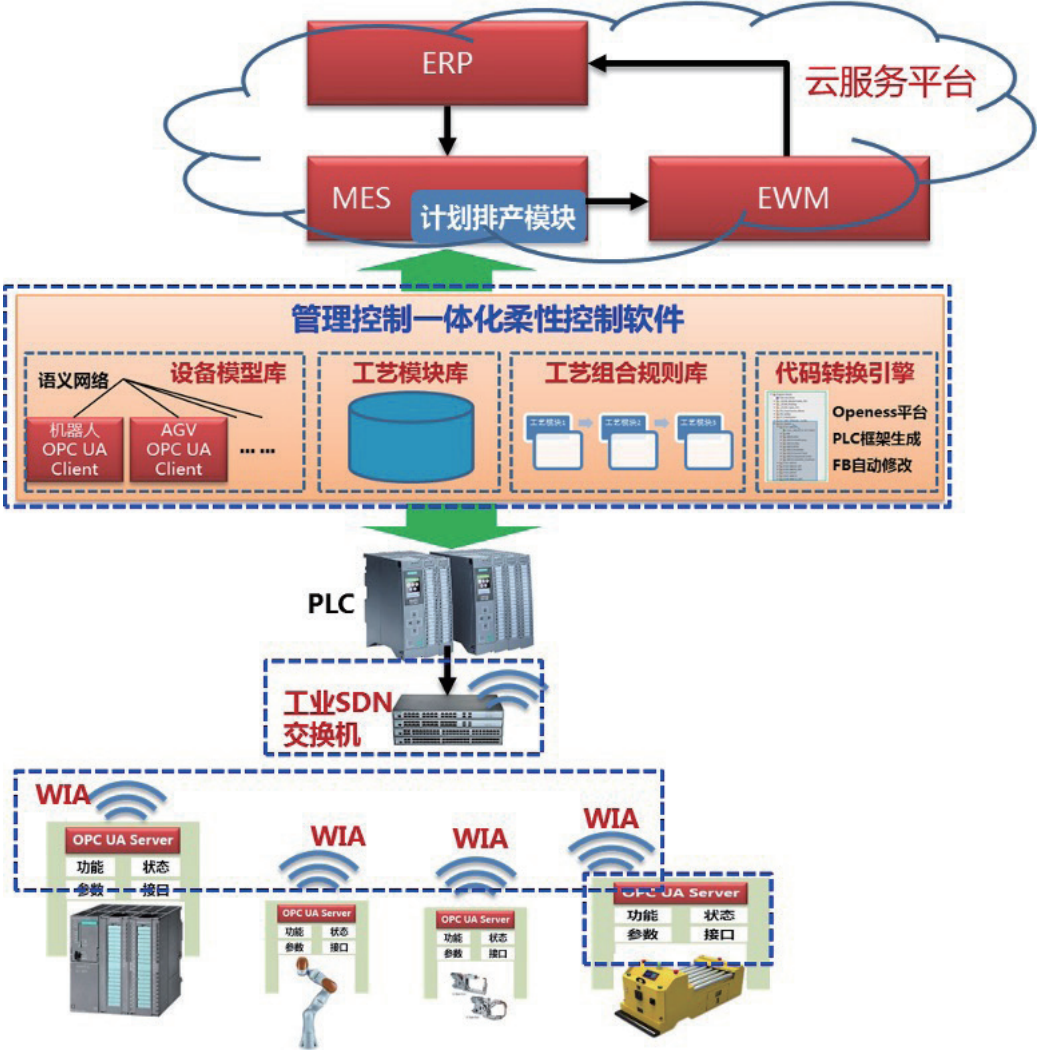


图 38：工业 SDN 网络测试床

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。

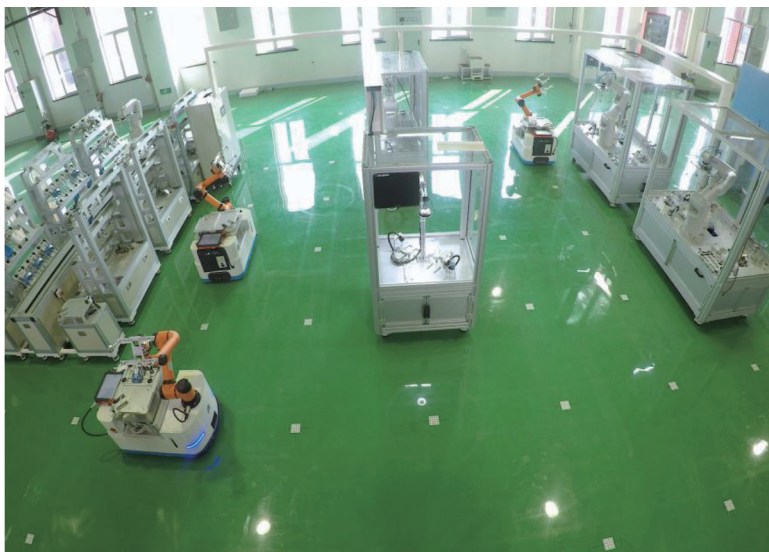


图 39：工业互联网 SDN 真实环境

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

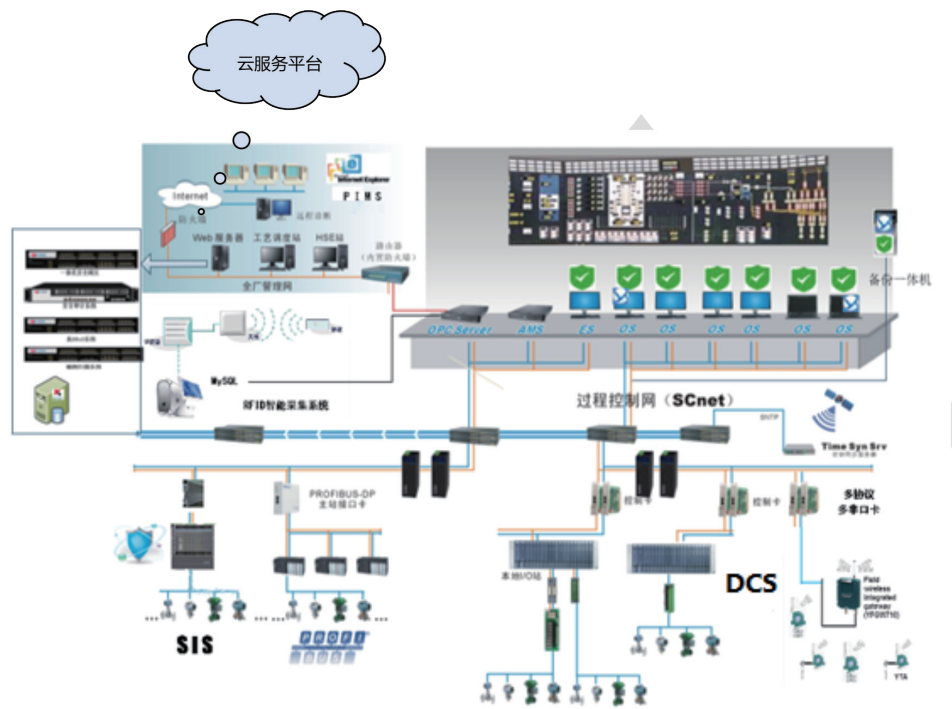


图 40：工业互联网制造安全一体化测试床

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部（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)

许永硕, 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

田昊, 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

德国国际合作机构 (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

