



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 and 实践中形成了不同的认识。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。

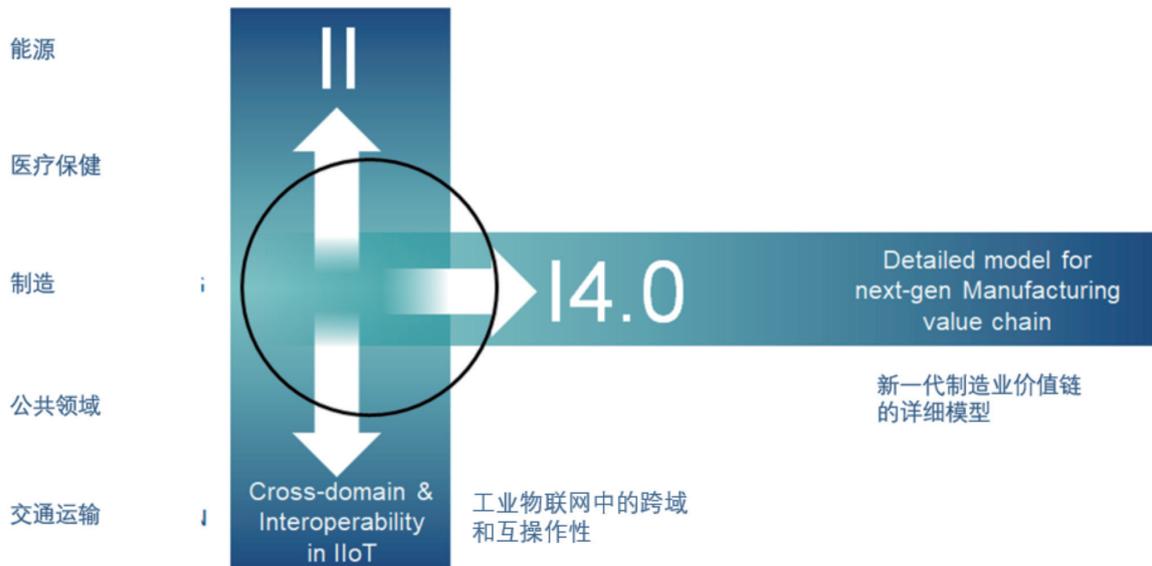


图 1：工业物联网与工业 4.0 之间的连接图解 [资料来源：工业互联网联盟 IIC 和工业 4.0 平台¹]

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。

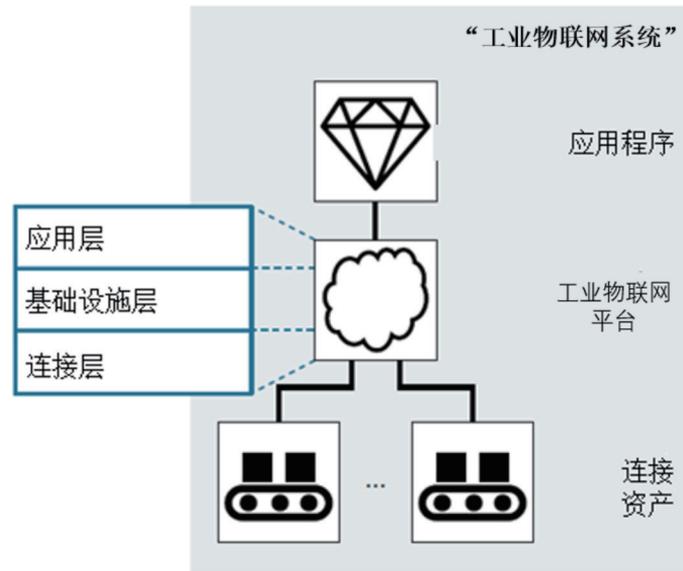


图 2：工业互联网系统不同层次图解 [资料来源：工业 4.0 平台 (2018)^{3]}

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。

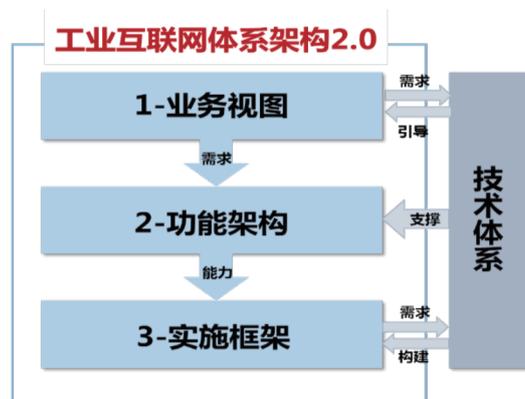


图 3：工业互联网体系架构 2.0

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。

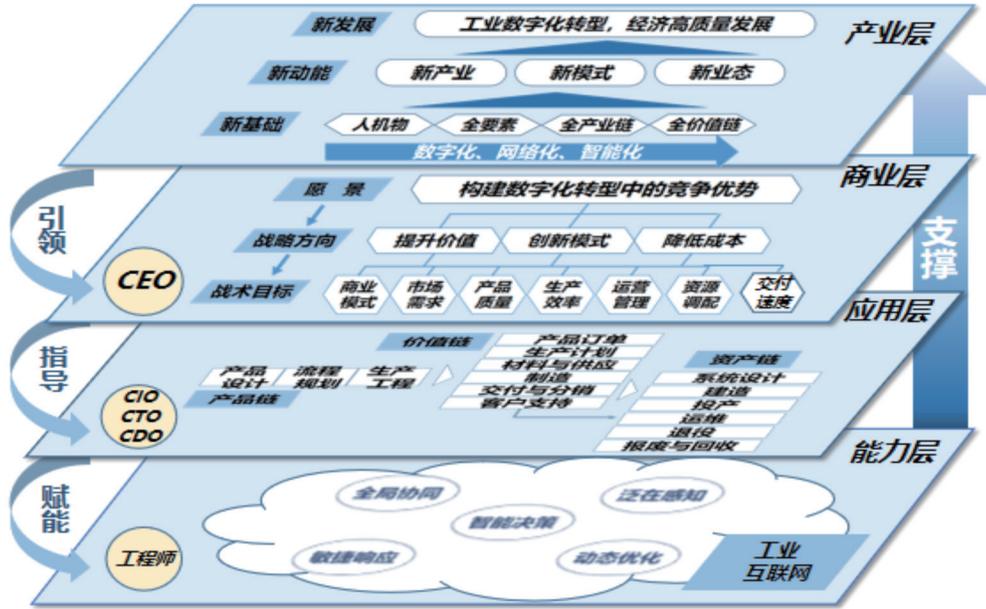


图 4：业务视图

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。

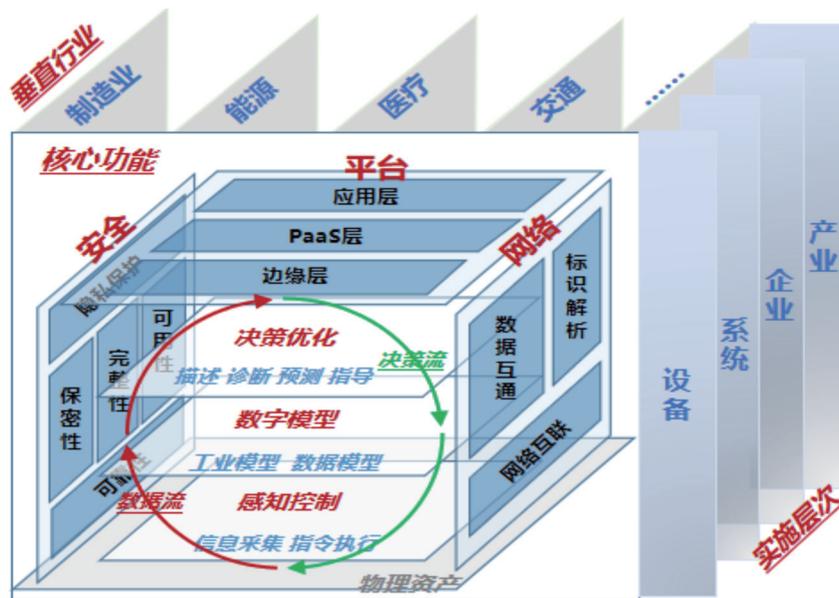


图 5：功能架构

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。

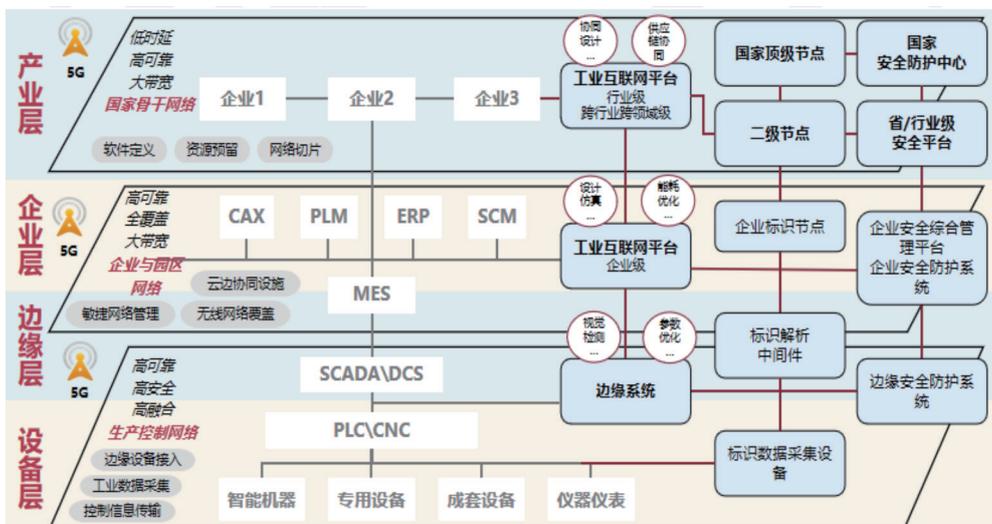


图 6：实施框架

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：

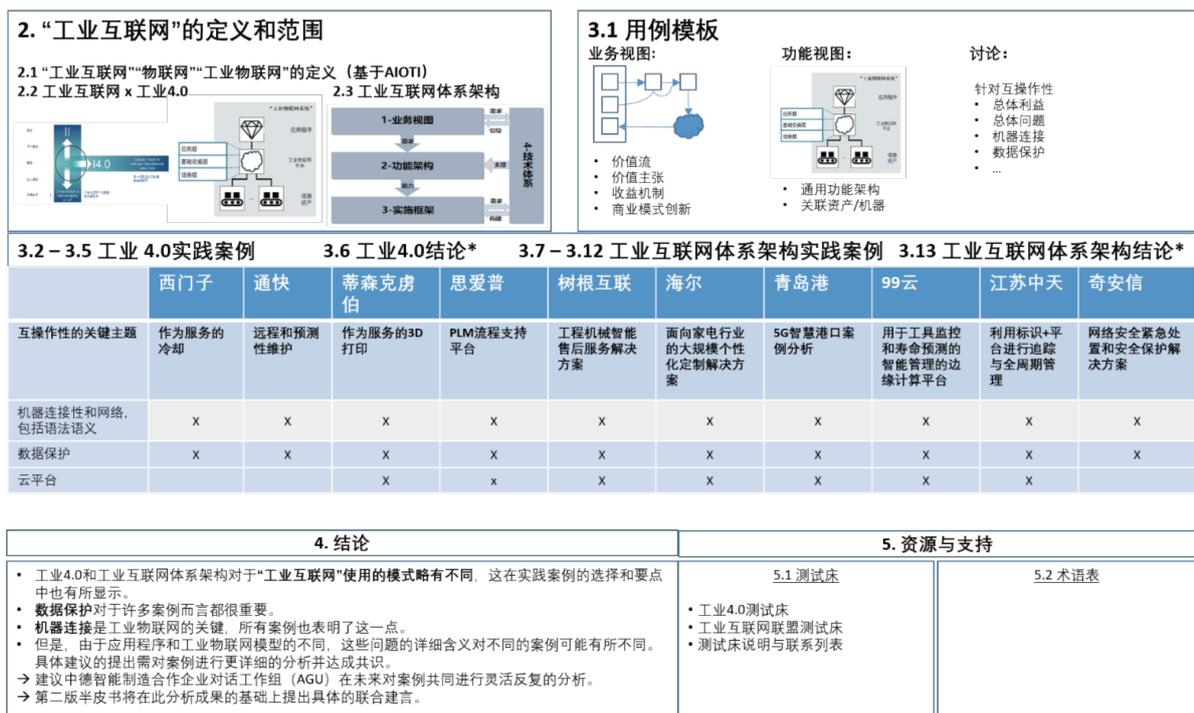


图 7：白皮书概要图解

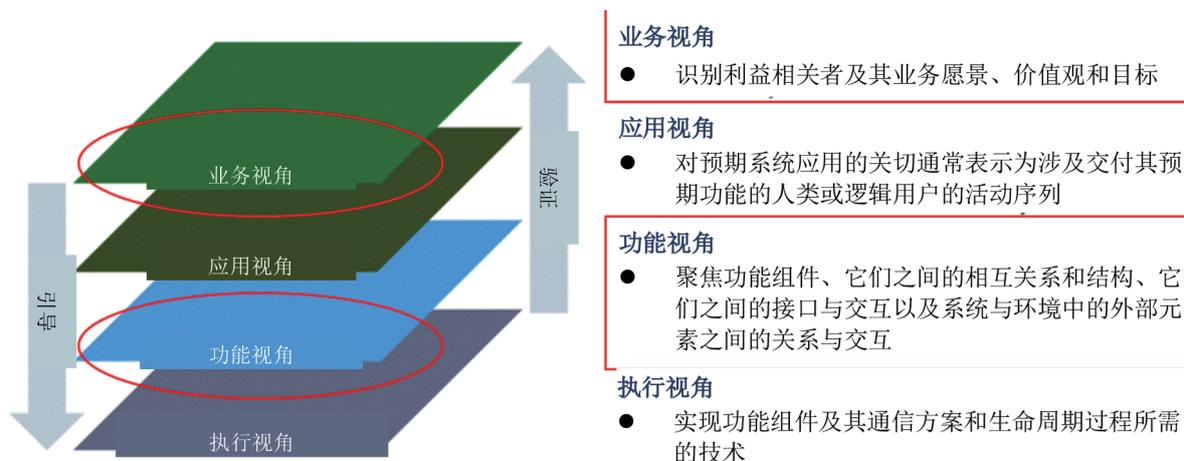
4 剑桥词典，<https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/interoperability>.

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。

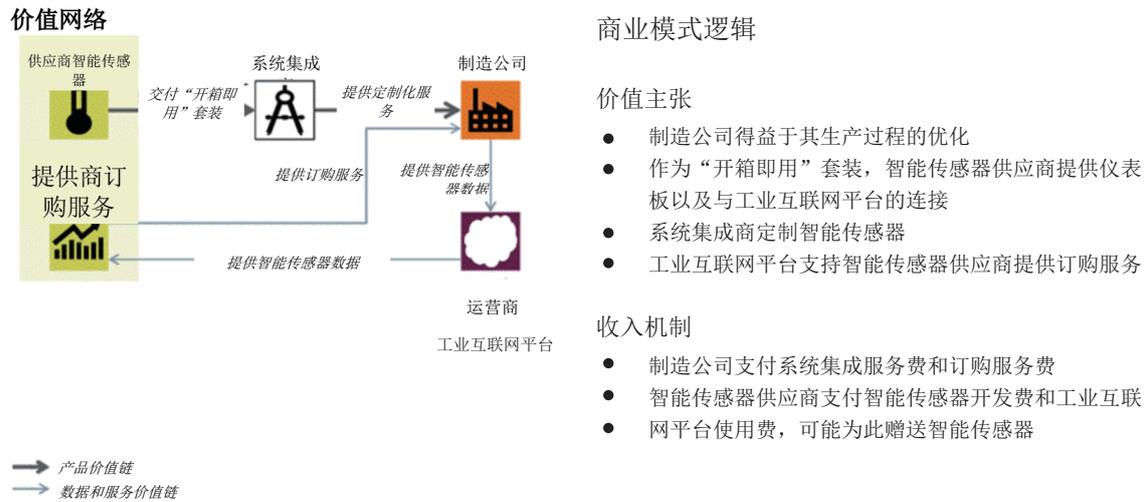


图 9：构架应用示例

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。

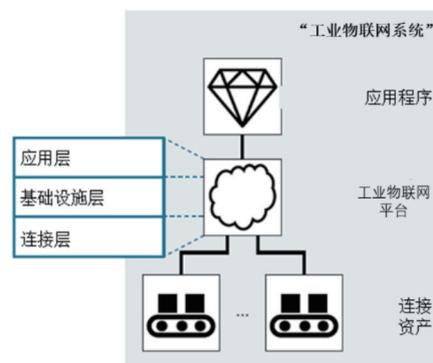


图 10：工业物联网系统不同层次图解

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。

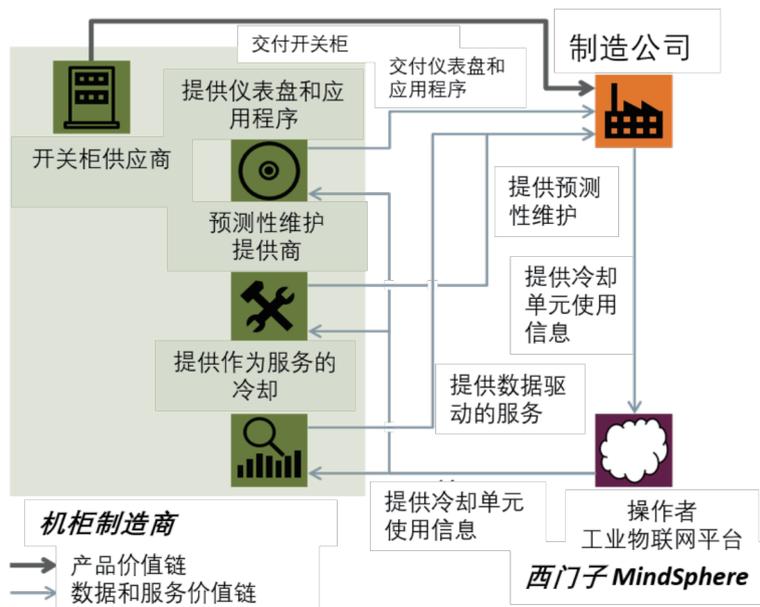


图 11：价值链图示

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

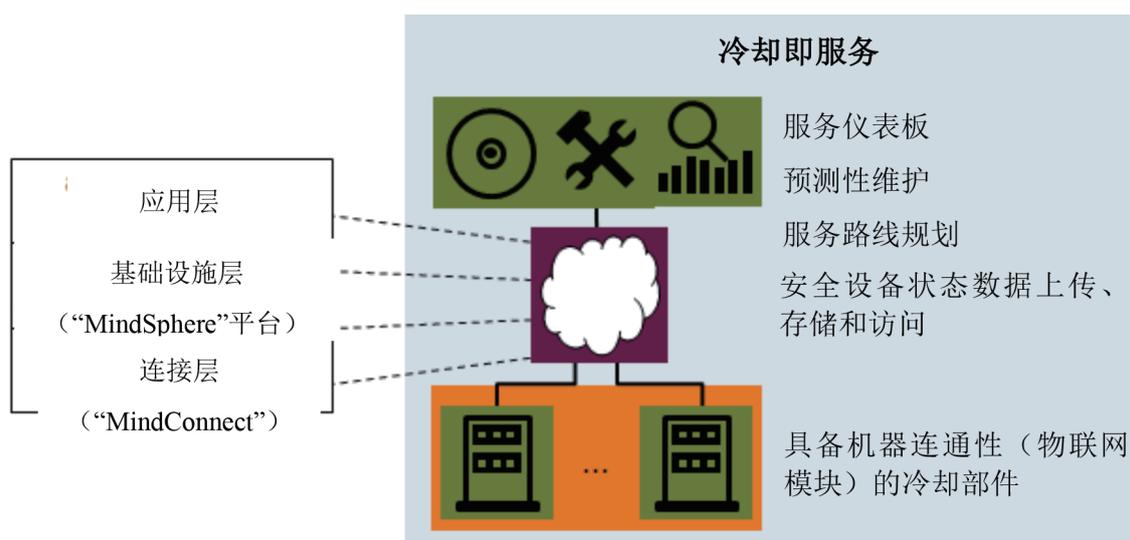


图 12：以工业物联网体系架构呈现此案例

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。

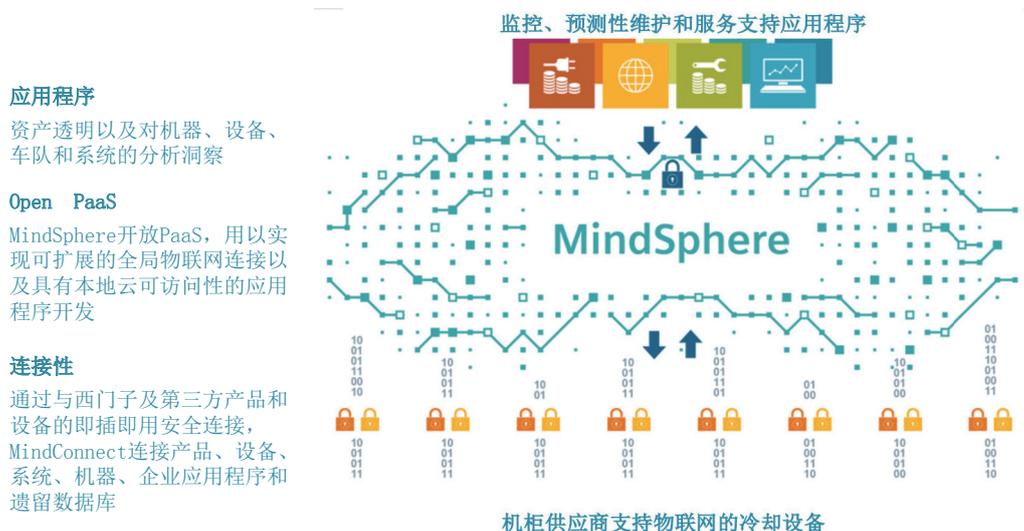


图 13: MindSphere 架构图示

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，如何将与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。

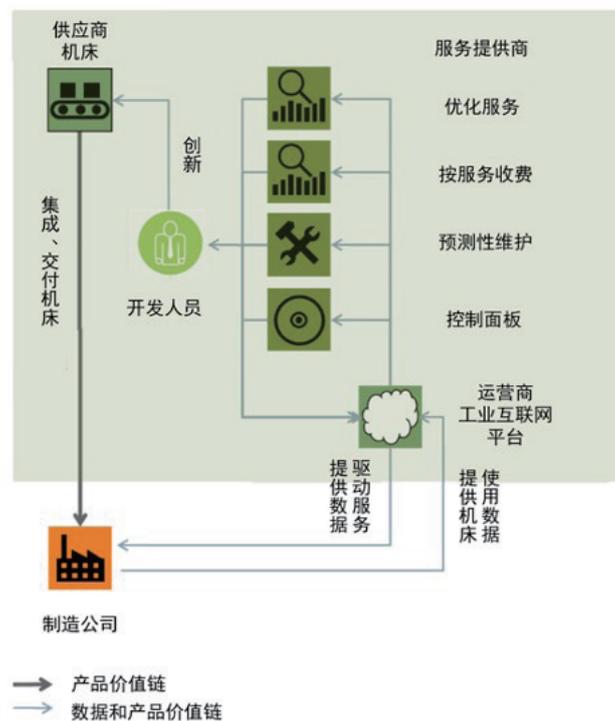
所有服务和相应业务模式都必须基于机床和制造商之间安全的数据传输以及使用。

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，然后根据需求和具体情况进行传输。

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。

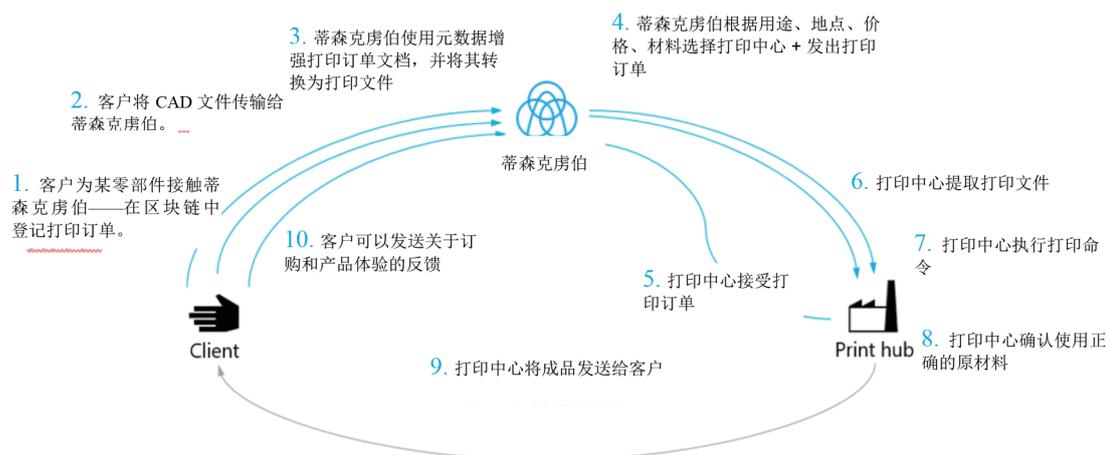


图 15：价值流和价值主张

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。

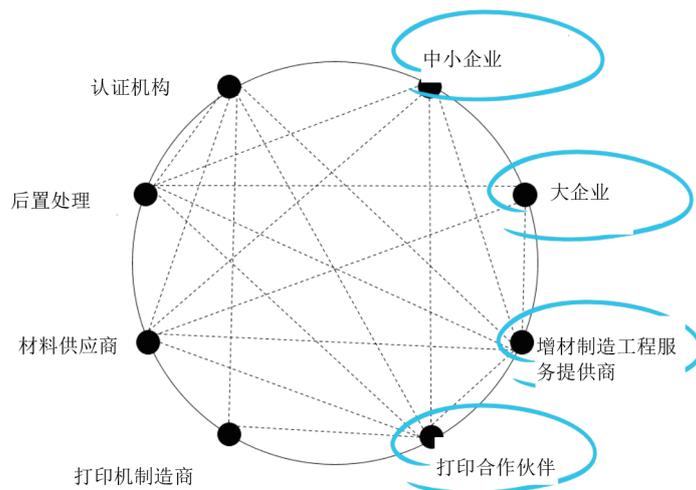


图 16：利益相关者和生态系统

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。

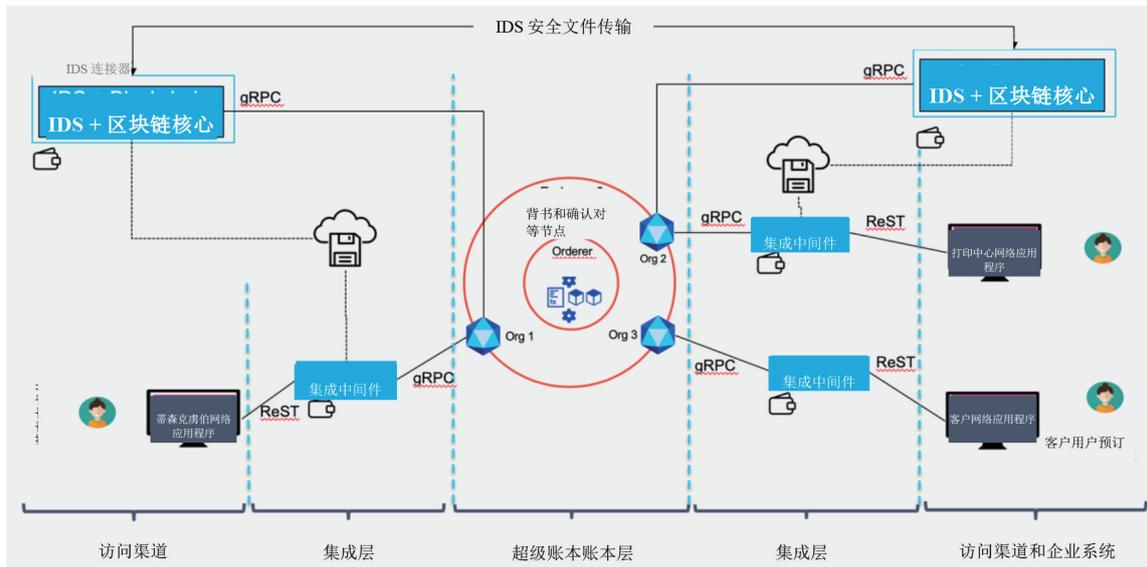


图 17：高层架构

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。

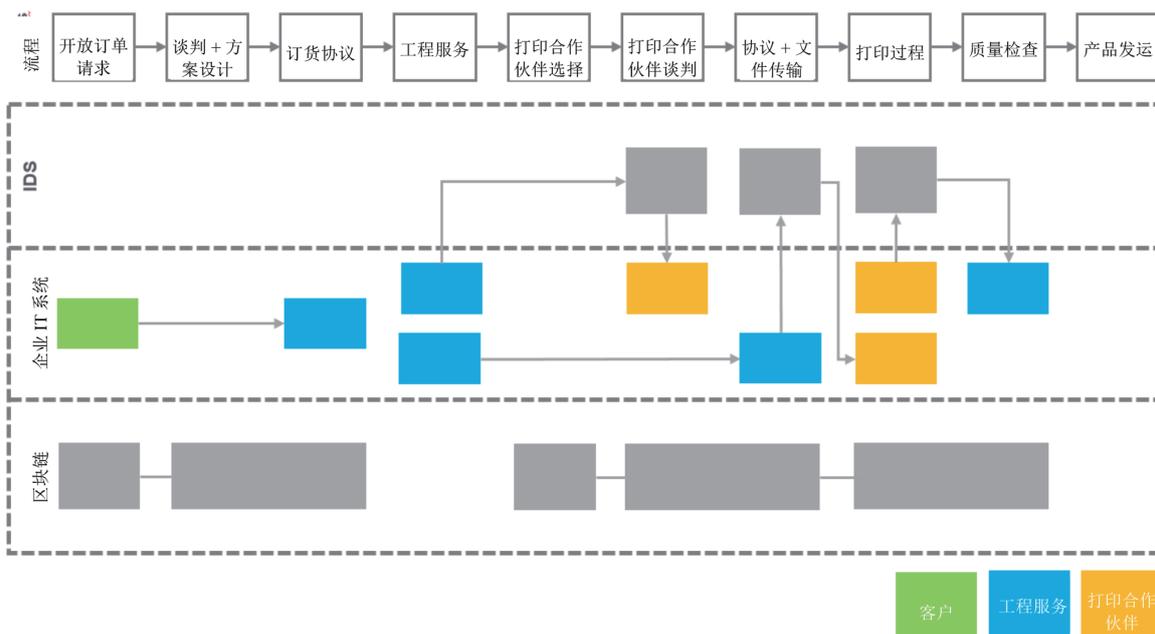


图 18：高层架构、分层架构元素和流程描述

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、资产生产者和资产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

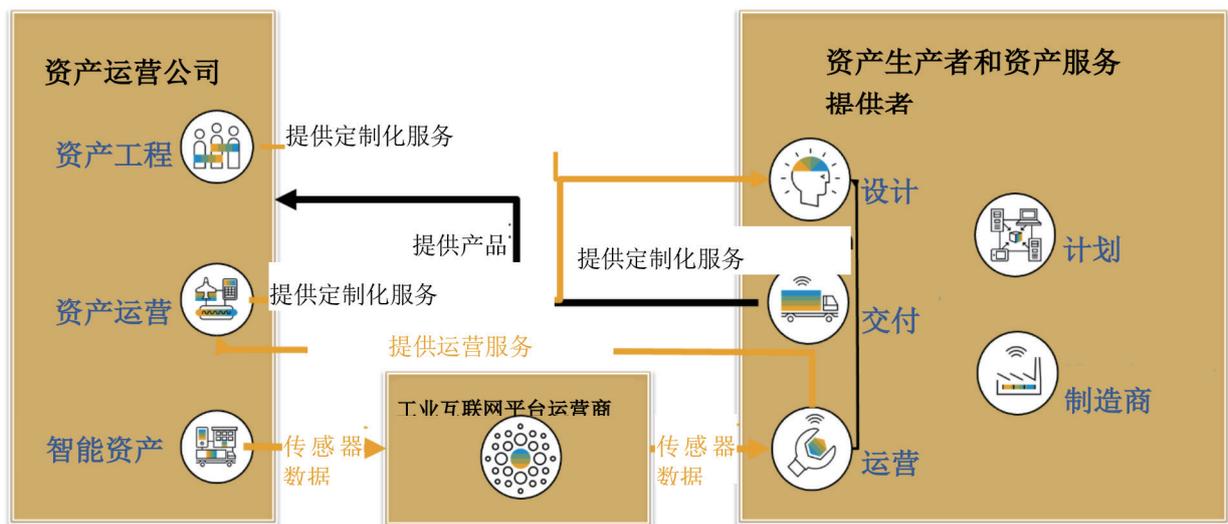


图 19：价值网络

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资产服务提供者，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，资产服务提供者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

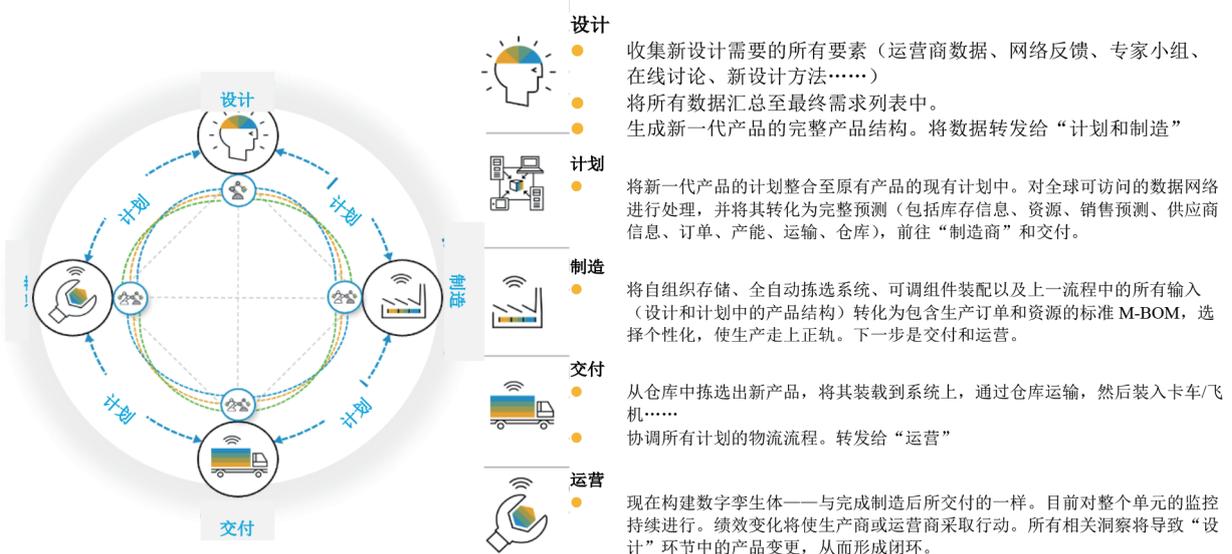


图 20: D2O 的高层功能架构

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。工业互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。

工业互联网平台可以通过 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。

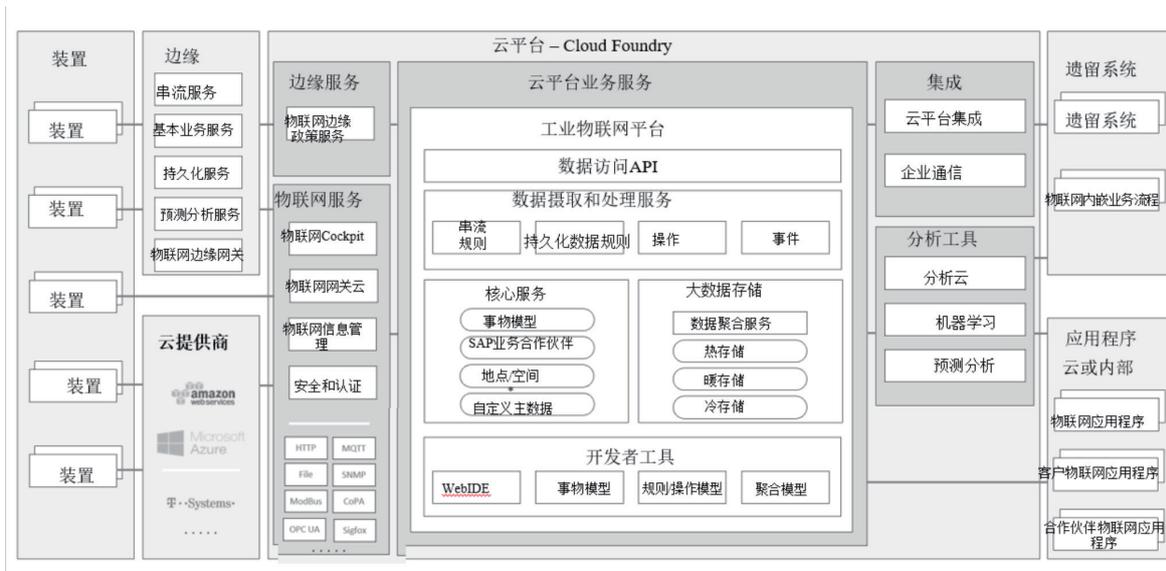


图 21: 高层组件架构

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程序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 系统中转换成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

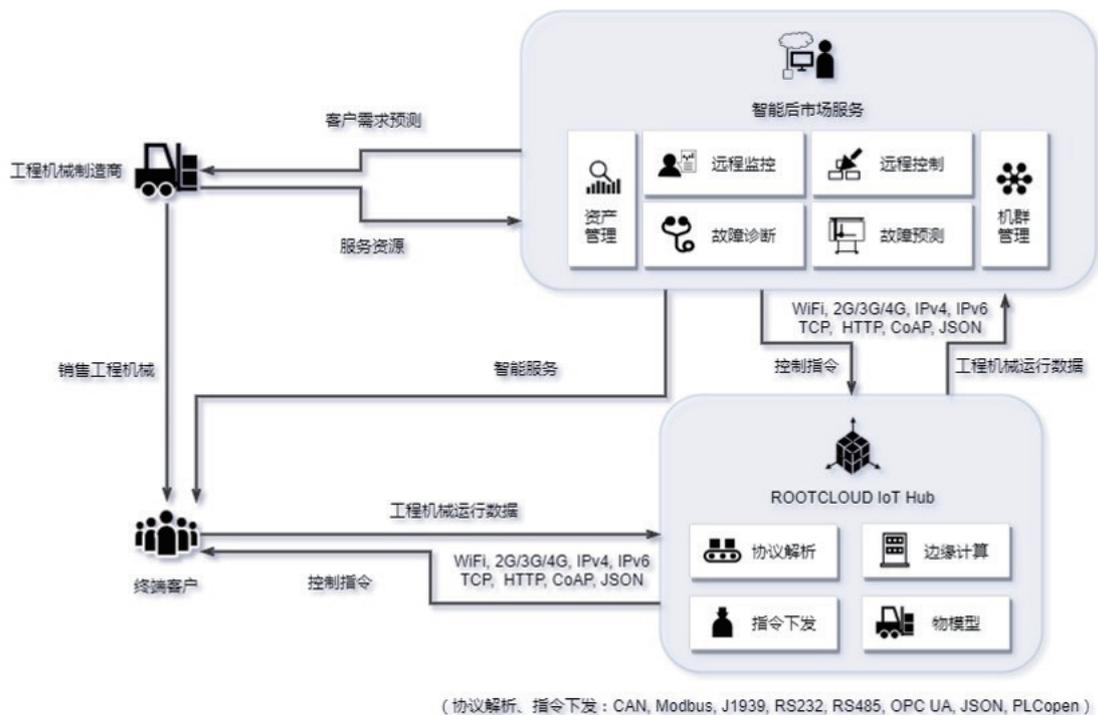


图 22：工程机械智能售后服务解决方案案例价值链

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。