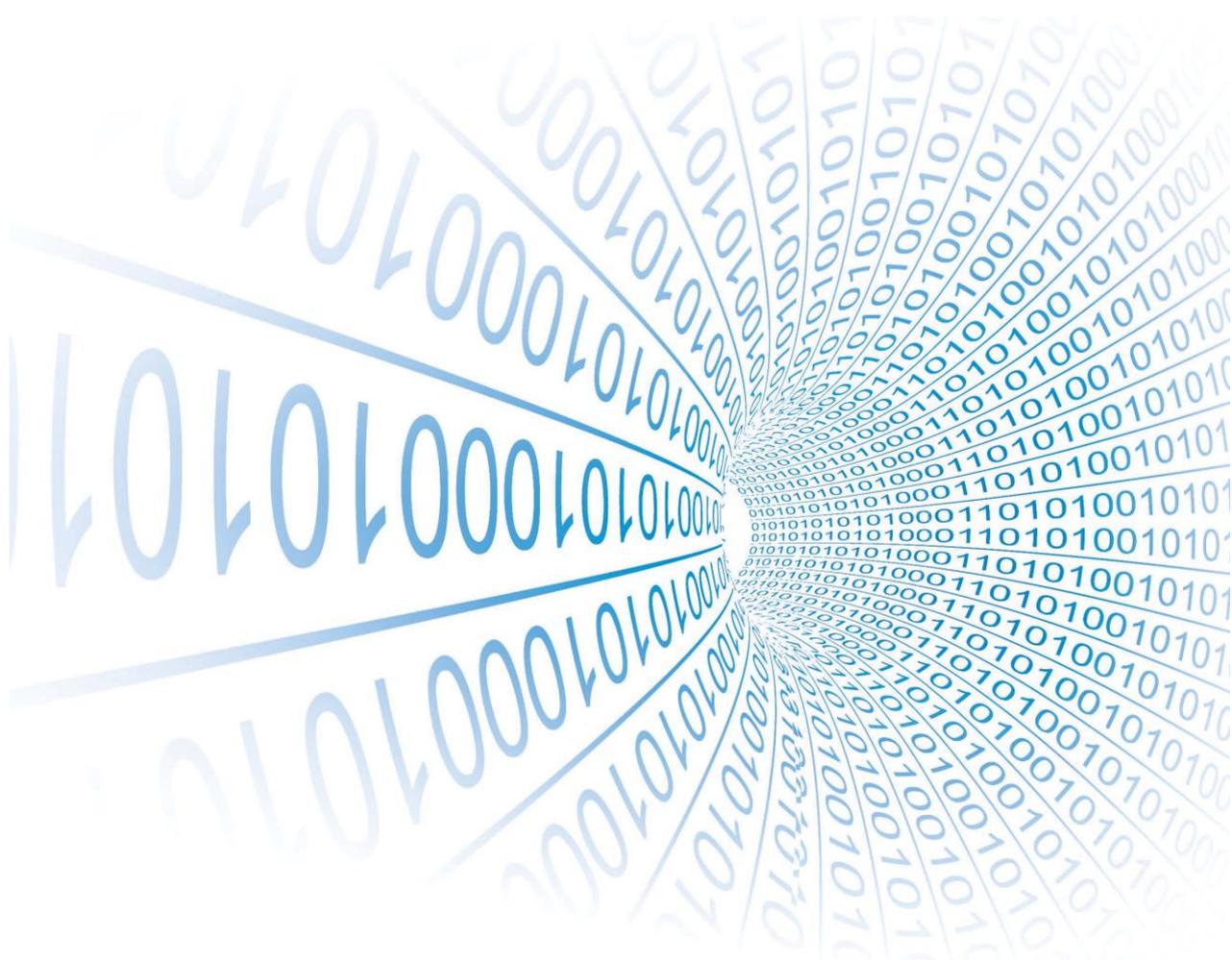

工业互联网平台技术体系



目 录

一、工业互联网平台的内涵	1
(一) 工业互联网平台发展背景	1
(二) 工业互联网平台体系架构	3
(三) 工业互联网平台核心作用	5
二、工业互联网平台技术体系	7
(一) 工业互联网平台七大核心技术交织融合	7
(二) 平台架构, PaaS 以其开放灵活特性成为主流选择	11
(三) 应用创新, 工业机理与数据科学走向融合	13
(四) 功能下沉, 边缘与云端协同成为平台重要发展方向 ..	15
(五) 开发框架, 微服务等新型架构大幅降低开发难度与创新 成本.....	17

一、工业互联网平台的内涵

(一) 工业互联网平台发展背景

1. 制造业变革与数字经济发展实现历史性交汇

金融危机后，全球新一轮产业变革蓬勃兴起，制造业重新成为全球经济发展的焦点。世界主要发达国家采取了一系列重大举措推动制造业转型升级，德国依托雄厚的自动化基础，推进工业4.0。美国在实施先进制造战略的同时，大力发展工业互联网。法、日、韩、瑞典等国也纷纷推出制造业振兴计划。各国新型制造战略的核心都是通过构建新型生产方式与发展模式，推动传统制造业转型升级，重塑制造强国新优势。与此同时，数字经济浪潮席卷全球，驱动传统产业加速变革。特别是以互联网为代表的信息通信技术的发展极大地改变了人们的生活方式，构筑了新的产业体系，并通过技术和模式创新不断渗透影响实体经济领域，为传统产业变革带来巨大机遇。伴随制造业变革与数字经济浪潮交汇融合，云计算、物联网、大数据等信息技术与制造技术、工业知识的集成创新不断加剧，工业互联网平台应运而生。

2. 制造业智能化对平台工具提出新需求

当前制造业正处在由数字化、网络化向智能化发展的重要阶段，其核心是基于海量工业数据的全面感知，通过端到端的数据深度集成与建模分析，实现智能化的决策与控制指令，形成智能

化生产、网络化协同、个性化定制、服务化延伸等新型制造模式。这一背景下，传统数字化工具已经无法满足需求。一是工业数据的爆发式增长需要新的数据管理工具。随着工业系统由物理空间向信息空间、从可见世界向不可见世界延伸，工业数据采集范围不断扩大，数据的类型和规模都呈指数级增长，需要一个全新数据管理工具，实现海量数据低成本、高可靠的存储和管理。二是企业智能化决策需要新的应用创新载体。数据的丰富为制造企业开展更加精细化和精准化管理创造了前提，但工业场景高度复杂，行业知识千差万别，传统由少数大型企业驱动的应用创新模式难以满足不同企业的差异化需求，迫切需要一个开放的应用创新载体，通过工业数据、工业知识与平台功能的开放调用，降低应用创新门槛，实现智能化应用的爆发式增长。三是新型制造模式需要新的业务交互手段。为快速响应市场变化，制造企业间在设计、生产等领域的并行组织与资源协同日益频繁，要求企业设计、生产和管理系统都要更好支持与其他企业的业务交互，这就需要一个新的交互工具，实现不同主体、不同系统间的高效集成。海量数据管理、工业应用创新与深度业务协同，是工业互联网平台快速发展的主要驱动力。

3. 信息技术加速渗透并深刻影响制造业发展模式

新型信息技术重塑制造业数字化基础。云计算为制造企业带来更灵活、更经济、更可靠的数据存储和软件运行环境，物联网帮助制造企业有效收集设备、产线和生产现场成千上万种不同类

型的数据，人工智能强化了制造企业的数据洞察能力，实现智能化的管理和控制，这些都是推动制造企业数字化转型的新基础。开放互联网理念变革传统制造模式。通过网络化平台组织生产经营活动，制造企业能够实现资源快速整合利用，低成本快速响应市场需求，催生个性化定制、网络化协同等新模式新业态。平台经济不断创新商业模式。信息技术与制造技术的融合带动信息经济、知识经济、分享经济等新经济模式加速向工业领域渗透，培育增长新动能。互联网技术、理念和商业模式成为构建工业互联网平台的重要方式。

（二）工业互联网平台体系架构

工业互联网平台是面向制造业数字化、网络化、智能化需求，构建基于海量数据采集、汇聚、分析的服务体系，支撑制造资源泛在连接、弹性供给、高效配置的工业云平台，包括边缘、平台（工业 PaaS）、应用三大核心层级。可以认为，工业互联网平台是工业云平台的延伸发展，其本质是在传统云平台的基础上叠加物联网、大数据、人工智能等新兴技术，构建更精准、实时、高效的数据采集体系，建设包括存储、集成、访问、分析、管理功能的使能平台，实现工业技术、经验、知识模型化、软件化、复用化，以工业 APP 的形式为制造企业各类创新应用，最终形成资源富集、多方参与、合作共赢、协同演进的制造业生态。



图 1：工业互联网平台功能架构图

第一层是边缘，通过大范围、深层次的数据采集，以及异构数据的协议转换与边缘处理，构建工业互联网平台的数据基础。一是通过各类通信手段接入不同设备、系统和产品，采集海量数据；二是依托协议转换技术实现多源异构数据的归一化和边缘集成；三是利用边缘计算设备实现底层数据的汇聚处理，并实现数据向云端平台的集成。

第二层是平台，基于通用 PaaS 叠加大数据处理、工业数据分析、工业微服务等创新功能，构建可扩展的开放式云操作系统。一是提供工业数据管理能力，将数据科学与工业机理结合，帮助制造企业构建工业数据分析能力，实现数据价值挖掘；二是把技术、知识、经验等资源固化为可移植、可复用的工业微服务组件库，供开发者调用；三是构建应用开发环境，借助微服务组件和

工业应用开发工具，帮助用户快速构建定制化的工业 APP。

第三层是应用，形成满足不同行业、不同场景的工业 SaaS 和工业 APP，形成工业互联网平台的最终价值。一是提供了设计、生产、管理、服务等一系列创新性业务应用。二是构建了良好的工业 APP 创新环境，使开发者基于平台数据及微服务功能实现应用创新。

除此之外，工业互联网平台还包括 IaaS 基础设施，以及涵盖整个工业系统的安全管理体系，这些构成了工业互联网平台的基础支撑和重要保障。

泛在连接、云化服务、知识积累、应用创新是辨识工业互联网平台的四大特征。一是泛在连接，具备对设备、软件、人员等各类生产要素数据的全面采集能力。二是云化服务，实现基于云计算架构的海量数据存储、管理和计算。三是知识积累，能够提供基于工业知识机理的数据分析能力，并实现知识的固化、积累和复用。四是应用创新，能够调用平台功能及资源，提供开放的工业 APP 开发环境，实现工业 APP 创新应用。

（三）工业互联网平台核心作用

工业互联网平台能够有效集成海量工业设备与系统数据，实现业务与资源的智能管理，促进知识和经验的积累和传承，驱动应用和服务的开放创新。可以认为，工业互联网平台是新型制造系统的数字化神经中枢，在制造企业转型中发挥核心支撑作用。

当前来看，工业互联网平台已成为企业智能化转型重要抓手。

一是帮助企业实现智能化生产和管理。通过对生产现场“人机料法环”各类数据的全面采集和深度分析，能够发现导致生产瓶颈与产品缺陷的深层次原因，不断提高生产效率及产品质量。基于现场数据与企业计划资源、运营管理等数据的综合分析，能够实现更精准的供应链管理和财务管理，降低企业运营成本。二是帮助企业实现生产方式和商业模式创新。企业通过平台可以实现对产品售后使用环节的数据打通，提供设备健康管理、产品增值服务等新型业务模式，实现从卖产品到卖服务的转变，实现价值提升。基于平台还可以与用户进行更加充分的交互，了解用户个性化需求，并有效组织生产资源，依靠个性化产品实现更高利润水平。此外，不同企业还可以基于平台开展信息交互，实现跨企业、跨区域、跨行业的资源和能力集聚，打造更高效的协同设计、协同制造，协同服务体系。

未来，工业互联网平台可能催生新的产业体系。如同移动互联网平台创造了应用开发、应用分发、线上线下等一系列新的产业环节和价值，当前工业互联网平台在应用创新、产融结合等方面已显现出类似端倪，未来也有望发展成为一个全新的产业体系，促进形成大众创业、万众创新的多层次发展环境，真正实现“互联网+先进制造业”。

二、工业互联网平台技术体系

(一) 工业互联网平台七大核心技术交织融合

工业互联网平台需要解决多类工业设备接入、多源工业数据集成、海量数据管理与处理、工业数据建模分析、工业应用创新与集成、工业知识积累迭代实现等一系列问题，涉及七大类关键技术，分别为数据集成和边缘处理技术、IaaS 技术、平台使能技术、数据管理技术、应用开发和微服务技术、工业数据建模与分析技术、安全技术。

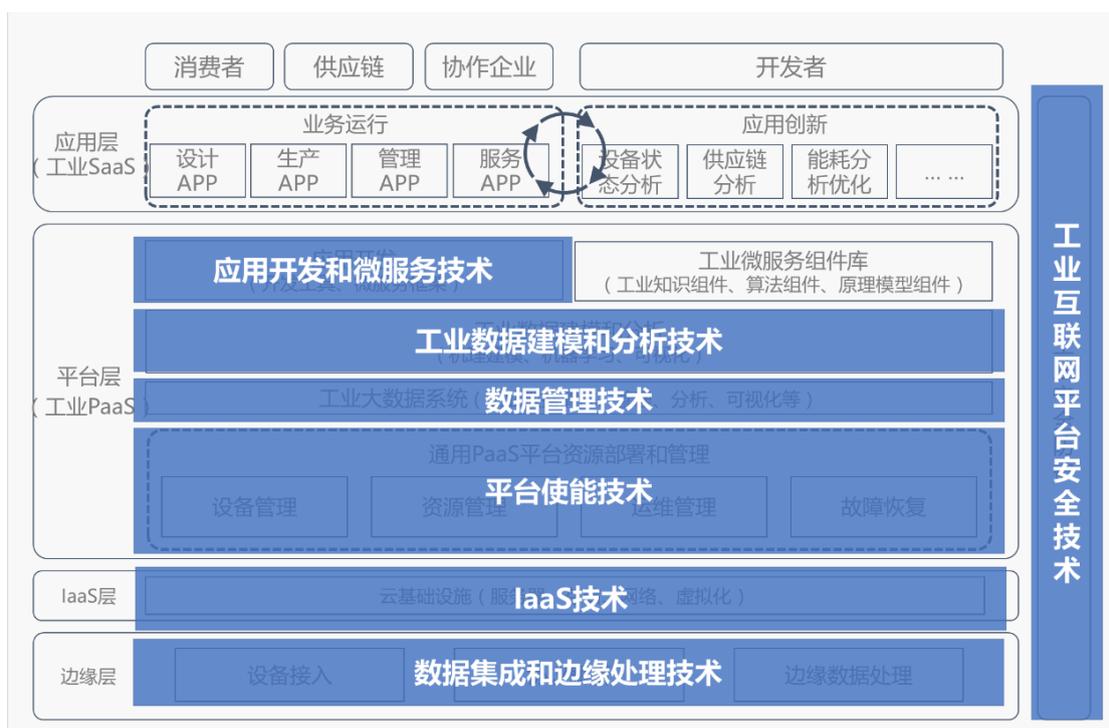


图 2：工业互联网平台关键技术体系图

1. 数据集成与边缘处理技术

设备接入：基于工业以太网、工业总线等工业通信协议，以太网、光纤等通用协议，3G/4G、NB-IOT 等无线协议将工业现场

设备接入到平台边缘层。

协议转换：一方面运用协议解析、中间件等技术兼容 ModBus、OPC、CAN、Profibus 等各类工业通信协议和软件通信接口，实现数据格式转换和统一。另一方面利用 HTTP、MQTT 等方式从边缘侧将采集到的数据传输到云端，实现数据的远程接入。

边缘数据处理：基于高性能计算芯片、实时操作系统、边缘分析算法等技术支撑，在靠近设备或数据源头的网络边缘侧进行数据预处理、存储以及智能分析应用，提升操作响应灵敏度、消除网络堵塞，并与云端分析形成协同。

2. IaaS 技术

基于虚拟化、分布式存储、并行计算、负载调度等技术，实现网络、计算、存储等计算机资源的池化管理，根据需求进行弹性分配，并确保资源使用的安全与隔离，为用户提供完善的云基础设施服务。

3. 平台使能技术

资源调度：通过实时监控云端应用的业务量动态变化，结合相应的调度算法为应用程序分配相应的底层资源，从而使云端应用可以自动适应业务量的变化。

多租户管理：通过虚拟化、数据库隔离、容器等技术实现不同租户应用和服务的隔离，保护其隐私与安全。

4. 数据管理技术

数据处理框架：借助 Hadoop、Spark、Storm 等分布式处理

架构，满足海量数据的批处理和流处理计算需求。

数据预处理：运用数据冗余剔除、异常检测、归一化等方法对原始数据进行清洗，为后续存储、管理与分析提供高质量数据来源。

数据存储与管理：通过分布式文件系统、NoSQL 数据库、关系数据库、时序数据库等不同的数据管理引擎实现海量工业数据的分区选择、存储、编目与索引等。

5. 应用开发和微服务技术

多语言与工具支持：支持 Java、Python、JavaScript、Ruby 和 PHP 等多种语言编译环境，并提供 Eclipse integration, JBoss Developer Studio、git 和 Jenkins 等各类开发工具，构建高效便捷的集成开发环境。

微服务架构：提供涵盖服务注册、发现、通信、调用的管理机制和运行环境，支撑基于微型服务单元集成的“松耦合”应用开发和部署。

图形化编程：通过类似 Labview 的图形化编程工具，简化开发流程，支持用户采用拖拽方式进行应用创建、测试、扩展等。

6. 工业数据建模与分析技术

数据分析算法：运用数学统计、机器学习及最新的人工智能算法实现面向历史数据、实时数据、时序数据的聚类、关联和预测分析。

机理建模：利用机械、电子、物理、化学等领域专业知识，

结合工业生产实践经验，基于已知工业机理构建各类模型，实现分析应用。

7. 安全技术

数据接入安全：通过工业防火墙技术、工业网闸技术、加密隧道传输技术，防止数据泄漏、被侦听或篡改，保障数据在源头和传输过程中安全。

平台安全：通过平台入侵实时检测、网络安全防御系统、恶意代码防护、网站威胁防护、网页防篡改等技术实现工业互联网平台的代码安全、应用安全、数据安全、网站安全。

访问安全：通过建立统一的访问机制，限制用户的访问权限和所能使用的计算资源和网络资源实现对云平台重要资源的访问控制和管理，防止非法访问。

在上述七大类技术中，通用平台使能技术、工业数据建模与分析技术、数据集成与边缘处理技术、应用开发和微服务技术正快速发展，对工业互联网平台的构建和发展产生深远影响。在平台层，PaaS 技术、新型集成技术和容器技术正加速改变信息系统的构建和组织方式。在边缘层，边缘计算技术极大的拓展了平台收集和管理数据的范围和能力。在应用层，微服务等新型开发框架驱动工业软件开发方式不断变革，而工业机理与数据科学深度融合则正在引发工业应用的创新浪潮。

(二) 平台架构 · PaaS 以其开放灵活特性成为主流选择

1. 基于通用 PaaS 的二次开发成为工业 PaaS 主要构建方式

PaaS 能够为上层工业 APP 开发屏蔽设备连接、软件集成与部署、计算资源调度的复杂性，大部分领先平台都依托通用 PaaS 向用户提供服务。例如 GE Predix 基于对 Cloud Foundry 的二次开发支持 Spring、.NET 等开发框架，提供 PostgreSQL、SQL Server、Redis 以及来自第三方和开源社区的应用服务，还包括 GitHub 代码库、Node.js、Bower 包管理器、Gulp、SASS、Web Component Tester 等多种开发工具，以便支持开发人员快速实现应用的开发与部署。其他主流平台也均采取类似策略，IBM Bluemix、西门子 MindSphere、BoschIoT Suite、航天云网 INDICS 等平台均基于 Cloud Foundry 搭建，树根互联根云 RootCloud、海尔 COSMOPlat 平台、寄云科技 NeuSeer 平台则分别基于 docker、Openshift 等进行构建。

2. 新型集成技术成为平台能力开放的重要手段

借助 REST API 等一系列 Web API 技术，大部分工业互联网平台中的设备、软件和服务通过 JSON、XML 等统一格式实现不同业务系统的信息交互和调度管理，为企业内外协同、云端协同、能力开放、知识共享奠定基础。新型 API 技术为多源异构系统的快速集成提供有效支撑，实现边缘设备与云端的集成、传统工业软件与云端的集成、平台内部不同软件和功能的集成。目前，Ayla、

Intel IoT、Zatar、Xively、Eurotech 等平台更是以 REST 协议为核心手段实现设备、应用程序、后端系统的全要素集成，此外，Predix、ThingWorx、Watson IoT 等绝大部分平台也都集成了 REST API 技术。基于 API 技术的能力开放是平台发展的重点方向。发那科 FIELDsystem 平台目前已经 200 多家公司开放 API，支持用户灵活调用平台的相关服务来开发个性化应用。Predix 基于 REST API 技术提供资产管理和位置控制的微服务，基于区块链技术提供数据完整性验证 API，基于大数据技术提供数据统计分析 API。IBM Watson IOT 平台基于 REST API 技术为工业应用提供连接、认知分析、实时分析、信息管理和风险管理等功能。3.

容器技术支撑平台及应用的灵活部署

通过引入容器和无服务器计算等新型架构，能够实现平台和工业应用的灵活部署和快速迭代，以适应工业场景中海量个性化开发需求。容器技术简化了硬件资源配置的复杂性，一方面实现了平台中服务和应用的灵活部署。例如 IBM 将 Watson IOT 平台中的采集服务和 Watson Service 平台中的分析服务以容器形式封装后，可以实现图形化的快速应用构建。GE Predix 平台中训练形成的智能模型，利用容器技术可以直接部署在 Predix Machine 设备上。另一方面，容器技术实现了平台自身的快速部署。例如 PTC ThingWorx 平台 2017 年 6 月发布的 8.0 版本增加了基于 Docker 的部署方式，支持平台在不同公有云、私有云、

混合云等多种基础设施上的快速构建和灵活迁移。SAP 在 docker

store 中提供 HANA 的应用速成 (express) 版，打包内存计算引擎和数据分析算法，使应用开发者可以在本地或云端快速开发基于 HANA 平台的数据分析应用和软件。

(三) 应用创新·工业机理与数据科学走向融合

1. 对工业机理的深入理解是工业数据分析的重要前提

在长期工业发展过程中，工业企业面向不同行业、不同场景、不同学科积累了大量经验与知识，这些工业机理的理解和提炼能够对生产现象进行精准描述和有效分析，对传统工业生产和管理的优化起到重要作用。随着新型数据科学的兴起，这些工业机理又能够有效指导数据分析过程中的参数选择和算法选择，使其更加贴合工业生产特点。因此，以 GE、西门子、博世等工业巨头均将自身工业经验知识进行提炼和封装，作为其工业互联网平台的核心能力与竞争优势。例如，GE 公司将以往由工程师智囊团完成的飞行数据分析工作“搬上” Predix 平台，专家在 Predix 平台的帮助下构建一个检测程序来根据航程的长短自动对比飞机起飞前后发动机滑油量，实现滑油消耗的提前告警和运维，从而将其航空发动机领域的专业知识和经验转化为平台上面向用户特殊应用需求的专业服务能力。

2. 大数据、机器学习技术驱动工业数据分析能力跨越式提升

工业互联网带来工业数据的爆发式增长，传统数学统计与拟合方法难以满足海量数据的深度挖掘，大数据与机器学习方法正

在成为众多工业互联网平台的标准配置。Spark、Hadoop、Storm 等大数据框架被广泛应用于海量数据的批处理和流处理，决策树、贝叶斯、支持向量机等各类机器学习算法，尤其是以深度学习、迁移学习、强化学习为代表的人工智能算法，正成为工业互联网平台解决各领域诊断、预测与优化问题的得力工具。例如，IBM 公司将人工智能系统 Watson 引入 Bluemix 中打造出具备

“AI+IoT”特色的 Watson IoT Platform，借助物联网强大的数据连接汇聚能力为智能系统 Watson 提供数据支撑，Watson 系统则凭借优势明显的认知、推理和学习功能寻找数据与结果之间的内在关联，并形成新的洞察力以帮助企业进行最优决策。

3.数据科学与工业机理结合有效支撑复杂数据分析，驱动数字孪生发展

基于工业互联网平台，数据分析方法与工业机理知识正在加速融合，从而实现对复杂工业数据的深度挖掘，形成优化决策。例如，上海隧道工程股份有限公司通过与寄云合作，借助平台采集工业检测设备中的各类图像、距离、位置、转速、倾角、压力、流量、扭矩、功率等全部数据，基于岩土知识、功率曲线、扭矩曲线、屈服强度等工业知识机理标记（或提取）异常信息，对历史数据进行特征提取与模型训练，再接入实时数据进行异常预警，从而解决盾构硬岩掘进机 TBM 施工过程中的难题，突破传统解决方案的极限。随着融合的不断深化，基于精确建模、高效分析、实时优化的数字孪生快速发展，实现对工业对象和工业流程的全

面洞察。东方国信基于非稳态、多相、多物理场的数值模拟仿真技术、热力学和动力学模型、以及工业大数据分析技术等，建立虚实映射、实时监控、智能诊断、协同优化的数字孪生，实现对工业实体设计和工艺流程的仿真及优化，在炼铁，工业锅炉，水电，空压机，能源等多个行业或领域落地。

4.工业知识正基于平台快速积累并实现高效传播与复用

通过数据积累、算法优化、模型迭代，工业互联网平台中将形成覆盖众多领域的各类知识库、工具库和模型库，实现旧知识的不断复用和新知识的持续产生。借助这种方式，传统分散于不同企业、不同系统、不同个体的工业经验将能够获得有效沉淀和汇聚起来，并通过平台功能的开放和调用被更多企业共享。例如，索为 SYSDWARE 平台通过打造统一的工程中间件，实现对各类知识经验、工业机理、算法模型的集成，目前已在航空、航天、船舶、兵器、核工业、电子等行业构建工业知识库上百个，知识条目 500 万以上。

(四) 功能下沉，边缘与云端协同成为平台重要发展方向

1.基于边缘的多协议转换强化平台数据接入能力

大部分平台均提出了协议转换和云端协同技术方案，实现设备、传感器、PLC、控制系统、管理软件等不同来源的海量数据在云端的集成与汇聚。基于网关的多协议转换正获得普遍应用，GE 通过将数据采集转换模块 Predix Machine 部署在现场传感器、

控制器和网关，利用 OPC UA 技术实现工业以太网、工业总线等不同协议的转换。Oracle IoT Cloud Service 面向设备远程管理业务，通过“软件网关”实现对行业通信协议的支持。西门子通过在设备端部署数据采集模块 MindConnect Nano，实现通用协议兼容和私有协议转换。基于操作系统和芯片的原生集成正成为重要创新方向。如 Intel 推出 Wind River Edge Management System 嵌入式管理系统，实现设备与 Intel IoT Platform 的直接互联。Ayla IoT Platform 与博通、高通、意法半导体等芯片巨头合作，将平台接口内嵌在芯片中，直接从芯片层面支持边缘与云端的互联。

2. 边缘数据处理和缓存技术有效提升平台承载能力

工业生产过程中高频数据采集，往往会对网络传输、平台存储与计算处理等方面带来性能和成本上的巨大压力，在边缘层进行数据的预处理和缓存，正成为主要平台企业的共同做法。一是在边缘层进行数据预处理，剔除冗余数据，减轻平台负载压力。例如，SAP Leonardo Edge Platform 与 Dell 边缘网关集成，实现边缘数据的实时预处理。华为推出 EC-IoT 解决方案基于敏捷网关能够大幅缩短业务上线时间，降低运营成本 50%以上。二是利用边缘缓存保留工业现场全量数据，并通过缓存设备直接导入数据中心，降低网络使用成本。例如亚马逊推出的 AWS Snowball Edge、微软 Azure 数据盒、以及谷歌的 Transfer Appliance，以 100TB 级别的容量支持现场数据临时存储，通过实体运输将数据

上传到数据中心，简化数据传输过程并尽可能减少设置与集成工作。在风电场的实际应用中，Snowball Edge 主要解决无网络偏远地区的数据存储上云问题。在制造企业的实际应用中，Snowball Edge 主要替代上位机或私有云保存现场数据。

3.边缘分析技术显著增强平台实时分析能力

为了更好地满足工业用户的实时性、可靠性要求，越来越多的平台运营企业开始将计算能力下放到更为靠近物或数据源头的网络边缘侧。一是边缘层直接运行实时分析算法，例如微软 2017 年 5 月更新 Azure IoT Edge 服务，新增了机器学习、认知服务、流数据分析等功能，支持在嵌入式边缘设备上运行复杂分析和人工智能算法，微软与金属切削刀具企业Sandvik Coromant 合作，基于Azure IoT Edge 在边缘实现了流数据分析和机器学习算法，使故障处理时延从云端处理的 2 秒缩短到边缘处理的 0.1 秒。二是边缘与平台协同，实现模型不断成长和优化。例如，PTC 在 ThingWorx 平台中集成能够实时发现边缘设备异常的 ThingWatcher 模块，并与云端分析交互共享，实现模型迭代生长。

(五) 开发框架·微服务等新型架构大幅降低开发难度与创新成本

1.基于微服务架构的开发方式大幅提升工业 APP 开发效率

基于微服务的开发方式支持多种开发工具和编程语言，并通过将通用功能进行模块化封装和复用，加快应用部署速度，降低

应用维护成本。例如 GE Predix 平台基于微服务提供资产绩效管理、运营优化、资产建模、数据获取等 180 多种微服务供开发者调用，简化了部署应用程序开发、部署与运维的复杂性。IBM Bluemix 平台推出可用于微服务开发的软件工具，如 IBM MQ Light for Bluemix 提供灵活、易于使用的消息传递机制，IBM Bluemix DevOps Services 则帮助用户降低部署和运维应用程序的难度。此外，西门子 MindSphere、航天云网 INDICS、寄云 NeuSeer 等平台也都通过微服务架构帮助用户快速构建个性化应用程序。

2. 基于图形拖拽的开发方式有效降低工业 APP 开发门槛

基于图形拖拽的开发方式降低了对开发人员编程基础、开发经验的要求，使其可以专注于功能设计，从而降低应用开发的门槛。例如 PTC ThingWorx 平台基于 ThingWorx Foundation 为开发人员提供模型驱动的应用程序开发服务，开发人员无需使用编写代码即可连接所有的 ThingWorx 组件，使用拖拽工具就可以开发高质量、可扩展的应用程序，相较传统方式能减少 10 倍的开发时间。SAP Cloud Platform 通过 Fiori、BUILD、WebIDE 等预制开发工具支持基于图形拖拽的开发方式，用户通过使用这些工具可进行轻量级云端开发，无需后台任何定制，就可实现应用的快速上线，将开发时间从几个月缩短到几周。