FEM 通过工业互联网平台加速工业数字化转型

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/27557.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

FEM 通过工业互联网平台加速工业数字化转型。论文标题：Improve the industrial digital transformation through Industrial Internet platforms

期刊：Frontiers of Engineering Management

作者：Ran LIU, Xiaolei XIE

发表时间： 16 Oct 2023

DOI：10.1007/s42524-023-0286-9

微信链接：点击此处阅读微信文章

作者：刘冉1，谢小磊2

单位：1. 上海交通大学工业工程与管理系；2. 清华大学工业工程系

引用：Ran LIU, Xiaolei XIE. Improve the industrial digital transformation through Industrial Internet platforms. Frontiers of Engineering Management, 2024, 11(1): 167 – 174
https://doi.org/10.1007/s42524-023-0286-9

文章链接：

https://journal.hep.com.cn/fem/EN/10.1007/s42524-023-0286-9

https://link.springer.com/article/10.1007/s42524-023-0286-9

关键词：工业数字化转型；工业互联网平台；制造；大数据

1.引言

1.1 定义与工业互联网中的关键参与者

工业互联网代表着一种革新的网络技术体系，它将物联网技术应用于制造业和工业领域中。此技

术体系通过连接众多传感器、设备、系统、工厂及企业，实现数据的共享与交换，旨在提升生产效率、减少成本、增强产品质量，以及推动智能制造的实现。作为第四次工业革命的关键基础和支柱，工业互联网为工业数字化转型提供了切实可行的方案。通过实现人、机器和物体的全面连接，工业互联网能够分析来自智能反馈的各类数据，推动新型制造和服务体系的形成。

在工业互联网的概念体系中，数据平台是一个重要组成部分。企业通常建立并运用自己的专有数据平台。与现有数据平台不同，工业互联网平台汇集了包括工业企业、应用开发者、平台服务提供者及政府监管机构在内的关键角色。这些角色在工业互联网平台内协同工作，如图1所示。

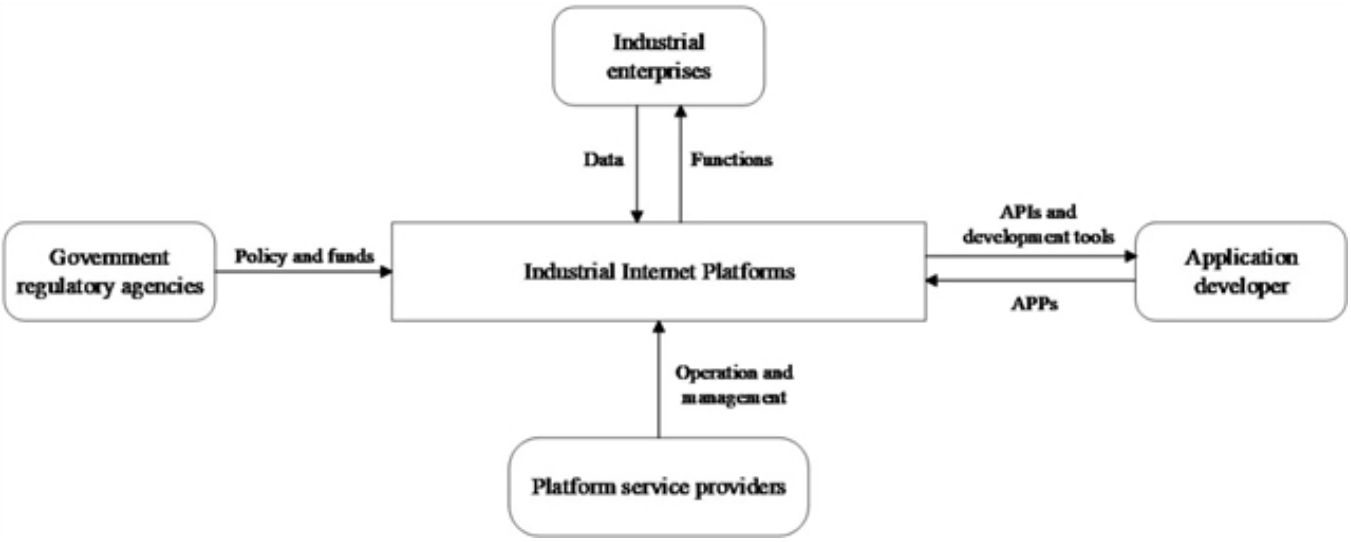


图1. 工业互联网中的关键参与者

下面简要介绍这些关键参与者的角色：首先，工业企业是工业互联网平台的主要用户和应用场景的贡献者，它们将传感器、可编程逻辑控制器和设备等物理设备接入平台，利用平台提供的数据采集、存储、分析和优化功能，推动生产线的优化和智能化，从而提高生产效率和质量，减少成本和风险。其次，应用开发者在平台中发挥关键作用，为工业企业开发多样化的应用程序，包括数据采集、监控、分析、预测等，这要求他们利用平台提供的API和开发工具。与工业企业的有效合作和对其业务需求及数据源的深入了解对开发定制应用程序至关重要，同时，与平台服务提供商的紧密协作确保了对平台最新技术和功能的了解，以及开发工具和API的最佳利用。平台服务提供商则承担起平台的运营、管理、技术支持、安全保障等责任，确保平台的稳定性和安全性。最后，政府监管机构在推动和监管工业互联网平台的发展中扮演双重角色，通过政策、资金、人才支持等多种方式，促进工业互联网平台的创新与发展，同时监督平台的合规性、标准化和安全性。

除了扩大关键角色的参与外，工业互联网平台相较于传统数据平台展现出更为强大的功能。这一平台着重于运用大数据技术，以优化数据的收集、存储、处理与分析流程。借助大数据技术，企业能够处理和分析庞大的数据集，包括结构化及非结构化数据，这样的处理促进了精准的预测和基于先进计算技术的实时决策。进一步地，工业互联网平台融合了人工智能技术，提升了企业洞察数据模式和趋势的能力，从而支持智能化决策和业务的增长。

1.2 中国的数字化转型

当前，中国制造业长期以来的成本优势正逐步减弱，并面对着先进制造业产业空心化的挑战。比如，众多制造企业已经将加工和组装作业转移到海外。中国的制造业在工业价值链中一直处于较低层次，这就需要提升高端产品的生产量。基于工业互联网的工业数字化转型升级变得尤为重要，不仅有助于减少劳动力，也促进了工业链和价值链的延伸与扩展。例如，中国一家大型电子信息制造企业通过实施全面的工业互联网解决方案来升级其工厂，取得了显著成果，员工数量减少了50%，生产效率提高了30%（Dong, 2019）。

观察工业互联网行业数字化转型的最新进展，可以明显看到政府正在加快推进工业互联网和数字化转型的步伐。然而，企业在适应市场变化、人才获取和管理方面却显得滞后。中国的工业数字化转型是一个长期过程。这一转型需要与工业技术、知识和专业技能深度融合，成为一项复杂而艰巨的任务。同时，中国的工业布局以其庞大规模和相对较低的数字化水平为特点，这意味着建设数字工业集群将面临巨大成本和长期的时间跨度（Lu, 2022）。尽管如此，企业仍面临资本和生存的压力，迫切需要工业数字化转型带来的快速回报和即时效益。在这些约束条件下，实现工业数字化显得尤为困难。此外，工业互联网产生的数据属于企业专有，这增加了进入大数据市场的门槛。这种情况可能导致市场垄断，阻碍工业数字化的广泛应用。

同时，人才资源的短缺对工业数字化转型构成了重大障碍。成功的数字化需要具备信息与通讯技术技能的同时，还需拥有数字化理解能力的人才。在当前的人才市场中，缺乏既理解行业趋势又具备数字专长、协作效率和创新能力的跨学科专业人才（Li et al., 2022）。在数字时代，产品生命周期显著缩短，企业争夺用户的窗口期越来越短，这对它们的生存和发展构成了巨大挑战。人才是企业发展的基础驱动力，企业需要构建高技能的数字化团队来推进数字化转型。

在管理挑战方面，政府在协调数字化转型方面的能力需要加强。工业互联网行业的数字化转型要求跨部门、跨行业、跨企业和跨地区的合作。此外，数字数据流通的大规模、广泛范围、技术复杂性和监管挑战，使得有效监管成为一项艰巨的任务。数字管理实体的组织结构差异，阻碍了其有效监督工业数字化转型的能力（Yu et al., 2020）。迫切需要在企业层面进行数字化转型的顶层战略规划。大多数公司需要全面的战略、长期规划和深入的讨论与策略制定，以应对数字化转型的复杂性。因此，制造企业经常面临转型什么和如何转型的问题（Dong, 2020）。此外，中国的工业数字化转型还面临着数据获取与应用的复杂性、数据安全、数据管理和数据共享等技术管理问题。

2.工业互联网平台在数字化转型中的角色

在中国，工业互联网已从单纯的概念倡导转变为深度培育实际应用的阶段。中国的工业互联网公司实现了快速发展，并不断创新和完善技术。根据中华人民共和国工业和信息化部的数据，截至2022年底，中国已建立了150多个具有区域和行业影响力的工业互联网平台。中国工业互联网应用技术已从单一设备控制发展到智能制造，广泛应用于包括电子设备制造、钢铁生产和电力生成在内的十个关键行业。（Han, 2021）。

作为新兴基础设施之一，工业互联网通过数字技术和自动化解决方案增强了企业的数字能力，促进了智能制造。

在商业模式分析领域，得益于大数据分析和机器学习技术，工业互联网可以获取实时市场数据并进行深入的数据分析。这帮助企业完善其商业模式，提升商业价值。通过建立企业信息系统和客户关系系统，工业互联网实现并评估客户偏好，使企业能够在企业和客户信息迅速变化中与市场需求保持一致（Wang et al., 2020）。例如，在不同的市场条件下，制造企业可以提供产品、预测

性维护服务和其他解决方案，以与客户建立持久的合作伙伴关系，同时增加收入（Jacobson et al., 2017）。

在生产方面，工业互联网使企业能够通过审查大量生产数据和监控实时生产程序来优化生产过程，减少浪费。通过工业互联网促成的数据分析，大规模制造业可以减少因误判和生产线疏忽造成的成本。例如，博世工厂利用工业互联网平台审视其工业数据，提高生产效率。通过剖析生产线问题的根本原因，实现完全的数字连通性和转型（Lade et al., 2017）。在以小批量制造为特点的行业中，如航空制造业，工业互联网减少了信息延迟，并能在组件装配过程中自动跟踪设备信息（Szymanski, 2016）。

就工业链而言，工业互联网促进了各个环节的协调和优化。企业可以通过数据共享和协调链路（包括供应链、生产链和销售链）实现最优资源配置和生产流程的协同管理。例如，工业互联网采用深度学习算法实现产品维护、预测分析、产品开发和供应链管理等功能。这促进了企业内部部门的连通性，并沿着工业链推动数据合作（Latif et al., 2021）。通过技术如数字孪生集成产品生产和销售渠道，工业互联网将虚拟网络世界与实体世界桥接起来，提高了整个工业链的效率和质量，从而提升了整个行业的竞争力（Kiel et al., 2017）。

3.工业互联网平台的结构、关键技术与应用

工业互联网平台通过先进的连接和数据交换技术增强工业流程。其成功依赖于创新的架构和必要技术的无缝整合。我们展示了一个典型的工业互联网平台架构，如图2所示。这一架构可以划分为四个独特的层次：边缘层、基础设施即服务(IaaS)层、平台即服务(PaaS)层和软件即服务(SaaS)层。

如图2所示，边缘层主要提供如广泛的工业数据采集、转换、数据预处理和边缘分析应用等功能。基础设施即服务层主要包括与硬件服务器、数据存储、5G网络和虚拟化技术相关的基础设施。这些元素为确保工业互联网平台的安全稳定运行提供了必需的硬件基础。PaaS层提供了一系列功能，包括资源管理、工业数据和模型管理、工业建模分析以及支持工业应用创新。最后，最上层的软件即服务层促进业务运营并促使应用创新。

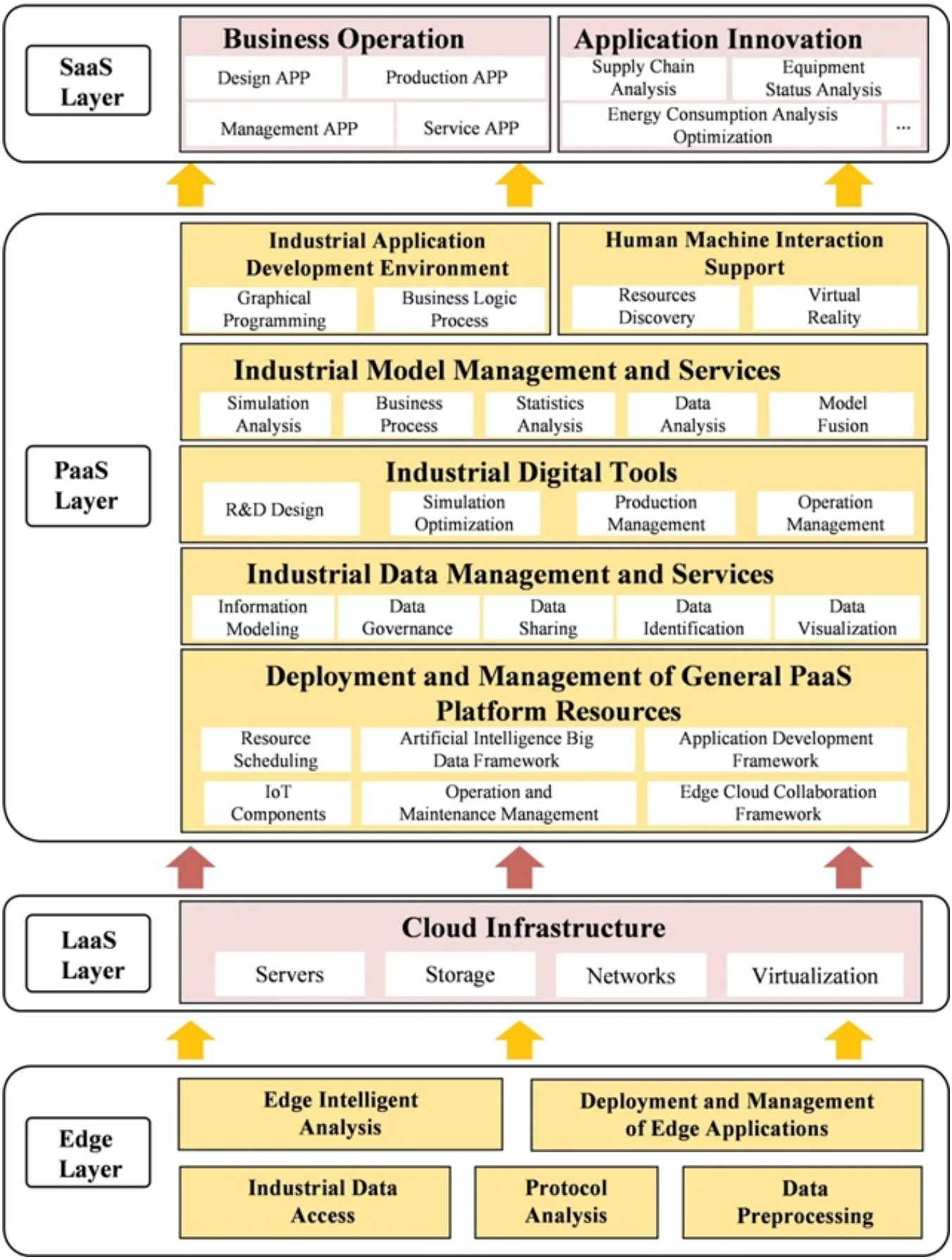

SaaS Layer
Business Operation
Design APP
Production APP
Management APP
Service APP
Application Innovation
Supply Chain Analysis
Equipment Status Analysis
Energy Consumption Analysis Optimization
...
PaaS Layer
Industrial Application Development Environment
Graphical Programming
Business Logic Process
Human Machine Interaction Support
Resources Discovery
Virtual Reality
Industrial Model Management and Services
Simulation Analysis
Business Process
Statistics Analysis
Data Analysis
Model Fusion
Industrial Digital Tools
R&D Design
Simulation Optimization
Production Management
Operation Management
Industrial Data Management and Services
Information Modeling
Data Governance
Data Sharing
Data Identification
Data Visualization
Deployment and Management of General PaaS Platform Resources
Resource Scheduling
Artificial Intelligence Big Data Framework
Application Development Framework
IoT Components
Operation and Maintenance Management
Edge Cloud Collaboration Framework
LaaS Layer
Cloud Infrastructure
Servers
Storage
Networks
Virtualization
Edge Layer
Edge Intelligent Analysis
Deployment and Management of Edge Applications
Industrial Data Access
Protocol Analysis
Data Preprocessing

图2. 工业互联网平台架构

工业互联网平台采用了几项关键技术来支撑上述架构，这些核心技术包括传感技术、大数据分析、云计算、人工智能以及安全技术。传感和数据采集技术从工业基础设施中嵌入的传感器和设备收集并传输数据。大数据分析对于从积累的数据中提取有价值的策略至关重要。此外，安全技术对于保护工业互联网平台免受网络威胁、确保数据的完整性和隐私至关重要。图3展示了关键技术及其应用领域。目前国内外都出现了许多成功的工业互联网平台。

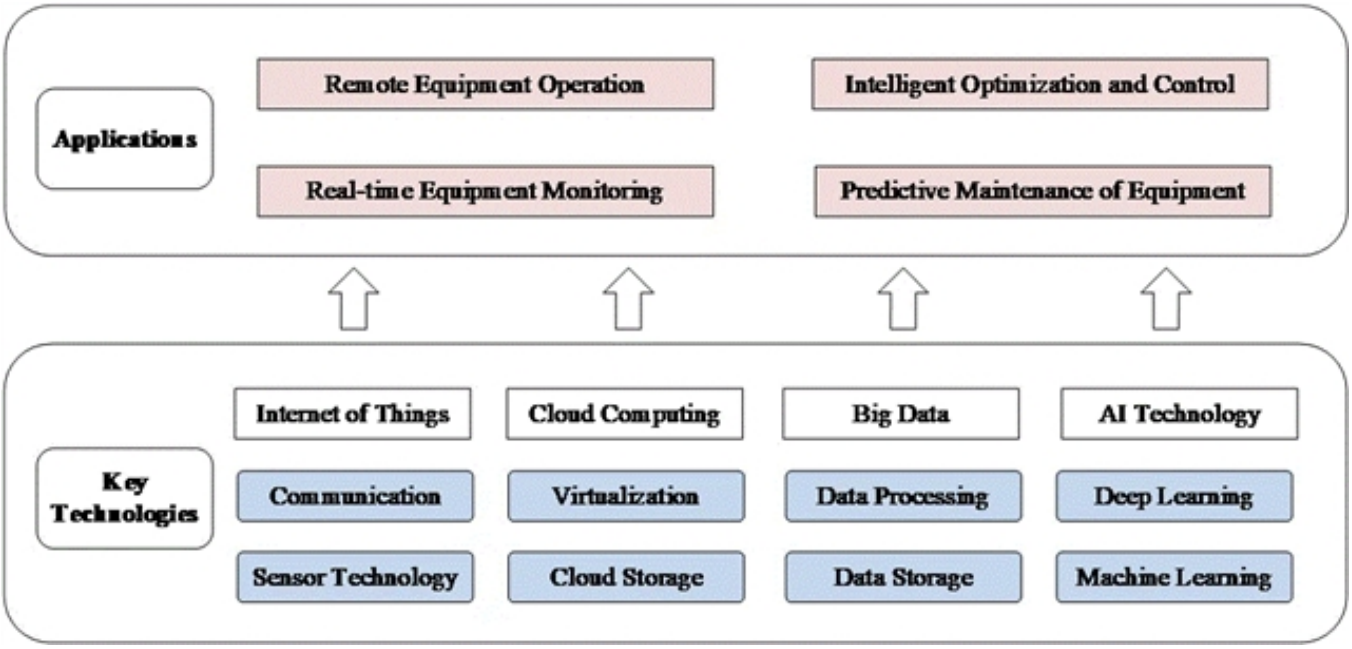


图3. 工业互联网平台的关键技术与应用

中国工业互联网平台的先驱是工业智能云系统（INDICS），由Chai等人在2018年引入。在INDICS平台的PaaS层中，设计有超过200个API，以支持应用生命周期管理。INDICS提供工业服务、工作流管理和仿真引擎，从而使应用制造软件化。该平台在促进中小型企业成功数字化转型中发挥了关键作用。例如，它连接了1022个风扇，并每日处理2亿条数据，实现了电网风扇的实时数据监控。这一功能帮助风力发电场识别设备故障并自动评估发电量（Chai et al., 2018）。此外，INDICS还连接了266台机器人设备，用于监控计算机数控公司中的机器人操作，通过故障数据分析减少计划外停机，并优化机器人性能。这些解决方案依赖于两项核心技术：从传感器和设备收集多样化生产数据的能力，以及基于云计算架构的广泛数据存储、管理和处理。这些技术确保了产品生命周期中的产品质量。

Li等人（2017）探讨了工业互联网平台在能源领域的应用。工业互联网技术正在彻底改变传统能源行业。该平台首先通过工业传感和无线通信技术提供的广泛传感能力，收集实时传感器数据（Luo et al., 2006）。随后，这些收集的数据经过处理并整合到能源管理系统中。这有助于决策者识别浪费并制定更有效的节能策略。此外，该平台将能源数据整合到生产管理实践中，以提高能效。该平台在很大程度上依赖于先进的信息和通信技术，如软件定义机器、智能传感和大数据分析。值得注意的是，大数据和数据分析提供了预测分析的见解，最小化了计划外的系统停机时间，并防止了意外关机。在能源行业采用工业互联网平台，带来了先进的控制、远程监控、预测性维护技术以及提高了安全性和效率（Zbunjak et al., 2013）。

在中国以外，通用电气（GE）开创了工业互联网的概念，包括基础设施层和平台层。基础设施层管理负责处理结构化和非结构化数据的数据中心，而平台层由可扩展的软件编程组成，覆盖在基础设施层之上（Agarwal et al., 2015）。GE为平台层推出了Predix工业互联网云平台，可在GE及非GE设备上运行。Predix在开发行业特定应用程序中发挥了关键作用，利用了先进的软件技术和云计算范式。几条GE业务线将Predix作为大数据和分析驱动的软件开发工作的标准技术平台。例如，它使GE的航空发动机和燃气轮机实现了预测性维护和修理，同时为客户提供分析和优化解决方案。

另一方面，西门子开发了称为MindSphere的工业互联网平台。该平台连接了大约100万个设备和系统，同时为这些设备提供预测性维护服务（Wang et al., 2020）。许多公司为产品制造过程的特定阶段创建了软件应用程序，但在不同系统间传输数据时出现了集成挑战。

MindSphere利用信息融合技术针对多源异构数据，提供了涵盖整个产品生命周期的全面自动化解决方案。

4.工业互联网的挑战及应对策略

尽管工业互联网对于改造制造业充满了巨大的潜力，但它面临着一系列需要解决的挑战。这些挑战包括混合临界性、网络延迟、安全漏洞，以及遗留工业系统（Breivold et al., 2015）。在接下来的部分中，我们将简要总结通过工业互联网平台促进数字化转型必须克服的障碍。

4.1 混合临界性

工业互联网平台需要在多个组件、设备和阶段之间集成众多功能，以实现更高水平的智能控制和协作。然而，当一个工业系统内部混合了不同关键性级别的功能时，就会出现混合临界性的挑战。为了防止低关键性功能干扰其高关键性功能，平台必须保证软件应用的自主性。虽然多核处理器硬件为解决这一问题提供了一个可行方案，但大量遗留软件最初是为单核执行设计的。在转向多核处理时，平台必须支持软件分区。虚拟化作为这一背景下的一项宝贵技术，通过允许不同操作系统在不同的虚拟机上同时运行，实现了同一系统内不同关键性级别的共存，确保了资源的有效分离和隔离。

4.2 网络延迟

在工业互联网系统内，数千个传感器、设备和可编程逻辑控制器通过工业现场总线和通信协议如IoT和5G进行互连。为了实现实时监控，工业互联网平台必须确保可靠和低延迟的数据传输。然而，随着现代工厂迅速增加传感器和分布式设备，网络延迟已经成为一个严峻的挑战。Hegazy等人（2014）的研究表明，互联网上的往返延迟通常从几十到几百毫秒不等，这一范围可以显著影响对延迟敏感的工业应用。

为了应对这一挑战，文献中引入了雾计算或边缘计算的概念（Hegazy et al., 2014）。在雾计算中，将具有实时性能要求的应用或服务转移到网络边缘或端设备以减少响应时间和延迟。边缘计算将不适合在云中执行的服务转移到端设备，从而减少响应时间。为了通过工业互联网平台实现行业的数字化转型，研究人员必须在雾计算或边缘计算领域取得实质性进展。

4.3 安全挑战

通常存在这样一种假设，即工业控制系统的网络是安全的，不受外部干扰。然而，工业互联网平台连接传感器、执行器、机械和工业网络，从而对系统设计者在数据隐私方面提出了挑战。从多个设备收集的数据的安全存储对于阻止恶意攻击至关重要。

在现有平台中，一般采用基于签名的安全技术。然而，攻击者可以轻松地操纵这些签名的语法表示来发动攻击。因此，工业互联网平台面临的一个关键挑战是以一个可以适应特定攻击变体的平衡抽象来表示攻击（Li et al., 2017）。此外，平台需要定期的安全升级。然而，对于某些系统即使毫秒级的停机也是不可接受的。因此，确保既不妨碍功能安全也不中断控制过程的无缝安全升级，是工业互联网平台面临的另一个严峻挑战（Breivold et al., 2015）。

4.4 遗留的工业系统

目前，工业领域主要使用遗留的软件系统，这些系统通常的寿命从十年到三十年不等。这些系统具有一些缺陷，如不断增加的复杂性、不充分的文档和现代开发人员的有限理解（Breivold et al., 2015）。除此以外，遗留系统也难以适应迅速变化的市场需求。因此，有效地利用和改造这些遗留系统对于工业互联网平台来说是一个巨大的挑战。这些平台需要不断部署新功能和服务以满足不可预测的市场动态。

在中国，许多工厂位于工业2.0阶段，自动化水平相对较低。数字化转型和智能升级设备需要巨大的成本和复杂性，带来了额外的挑战。例如，从这些工厂收集的数据可能是不完整的、不准确的，甚至是无法获得的。在解决中小型制造企业当前需求的同时，提高平台应用的深度，这是一项艰巨的任务。

5.工业数字化转型的前景展望

随着人工智能、信息传输和区块链等技术的出现，工业互联网平台展现出巨大的发展潜力。同时，通过这些平台的工业数字化转型也在持续进行。以下是这一领域潜在的未来方向。

首先，一个关键的未来方向涉及物联网(IoT)和人工智能(AI)技术的融合。工业互联网平台将越来越多地利用IoT设备和AI技术的集成。IoT设备将从多样化的工业流程中收集大量数据，AI在分析和提取这些数据中的有价值见解中扮演关键角色。AI在工业互联网平台中的应用将逐步扩展，增强工业生产平台的智能化。通过数据分析和机器学习，机械设备可以自主执行任务，实现高效生产并提升产品质量。此外，AI可以帮助公司实现个性化产品定制。通过智能生产和简化的供应链管理，公司可以迅速响应消费者需求，提供满足消费者需求的产品和服务。

其次，将自主系统和机器人集成到工业流程中是另一个值得注意的方向。工业互联网平台将促进自主系统和机器人的整合，这可能包括自主车辆、机器人装配线和用于监控和检查的无人机。这些技术有望提高工业操作中的效率、精确度和安全性。

第三，工业数字化转型的基础是工业互联网平台，这需要区块链技术的支持。鉴于工业互联网平台上存在大量敏感数据，这些数据的泄露或篡改可能导致生产中断和质量问题等风险。区块链技术的去中心化和加密属性提供了防篡改和防泄漏的保障，从而增强了数据安全。此外，区块链技术可以增强数据透明度。工业互联网平台涉及多个企业之间的数据交换和共享，但不同企业之间的数据格式和标准不一致可能导致信息不对称。区块链技术固有的分布式账本机制确保了数据的一致性和透明度，从而减少信息不对称，提高数据的准确性和可靠性。

此外，信息传输技术的未来进步将在工业数字化转型和工业互联网平台的运营中发挥关键作用。这些技术将继续发展和改进，包括更高的数据传输速度、更低的延迟、更广的覆盖范围、更强的安全性和更智能的交互模式。例如，5G网络支持网络切片技术，增强了工业互联网平台应用适应不同行业需求的能力。

最后，工业互联网平台构成了支撑工业5.0的关键技术基础。作为一个新的范式，工业5.0强调人与机器的整合和协同，以满足个性化和高度定制化的生产需求。它强调员工的积极参与和创造力，将他们从生产线上的单纯操作者转变为推动流程优化和技术进步的主要动力。工业互联网平台在推进工业5.0中发挥了关键作用。首先，它们促进了工业5.0中的人机合作。通过各种设备和系统的互联，工业互联网实现了工业生产过程中不同阶段的实时连通性和信息交换，促进了人与机器之间的无缝协作。其次，工业互联网平台在工业5.0中促进了实时互动。通过这些平台，包括制造企业、客户和供应商在内的各方利益相关者可以进行实时信息交换和协作，更好地满足定制化需求，提高生产效率和产品质量。最后，工业互联网平台为工业5.0提供了安全支撑。它们实现了数据的安全存储和传输，确保了制造企业信息的保护，加强了其知识产权和商业秘密的保护。

6.结论

通过工业互联网平台实现工业数字化转型，在促进经济快速增长、确保制造业稳定发展以及推动创新方面发挥了关键作用。具体来说，实现工业数字化转型需要工业互联网平台在业务模型分析、生产和工业链等领域的不可或缺的支持。本文对诸如INDICS和Predix工业互联网云平台等典型工业互联网平台进行了分析，探讨了工业互联网平台的关键技术，同时审视了工业互联网所扮演的关键角色。值得注意的是，工业互联网平台在能源和制造等行业引发了革命性的变革。然而，工业互联网的持续进展受到某些新兴技术的阻碍。因此，未来的研究应优先考虑混合临界性、网络延迟和安全管理等领域的研究。此外，应对长期存在的遗留工业系统构成了工业互联网平台面临的一个巨大挑战。最后，未来研究应考虑如何解决工业互联网平台中物理虚拟映射中的偏差与错。

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发