

2023

工业数字化关键技术 及发展趋势报告

Research Report on the Key Technologies and
Development Trends of Industrial
Digitalization

联合发布机构

铸基计划-中国信通院高质量数字化转型推进行动

捷配工业互联网研究院



铸基计划
中国信息通信研究院



版权声明

本报告版权属中国信通院铸基计划与杭州捷配信息科技有限公司，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：中国信通院铸基计划与杭州捷配信息科技有限公司”。违反上述声明者，编者将追究其相关法律责任。

前 言

工业数字化，是在工业领域基于网络信息技术，推动技术进步、组织变革和效率提升的融合应用模式。20 多年来，我国以电子信息制造业为重点，大力推动一、二、三产业信息化发展，部分重点产业如电子信息制造业、通信业取得较大突破。当前，我国工业数字化产业整体规模持续增加，工业数字化应用持续延伸至数十个国民经济大类中，并催生了平台化设计、智能化制造等新模式和业态。

在此背景下，本研究报告回顾了工业数字化发展历程的背景，并对工业数字化产业发展层级进行梳理，针对关键技术展开重点分析，讨论了技术发展趋势和行业动态。报告指出，伴随着我国工业数字化平台整体能力的提升，低代码开发、工业模型、数据模型等平台关键能力提升明显，数字孪生等新技术在平台探索应用。“5G+工业数字化”实践已初步展现变革性的赋能意义，为我国经济社会发展开启了新模式、新空间、新未来。

同时，报告也聚焦业界实践，总结了若干工业数字化领域技术衍生下的新商业模式，分析行业特点与需求，探索应用模式与路径，为工业数字化技术落地提供参考。

工业数字化是数字经济的重要组成，通过各类企业及机构的交互式创新活动，将有力推动我国工业制造企业创新能力的提升和向服务型制造转型，把握技术发展关键路径，推动企业走出低端制造的困境，真正实现各行业各细分领域的数字化转型发展。

目 录

一、 新常态：回归长期主义	4
(一) 工业数字化发展历程与现状	4
(二) 工业数字化驱动因素	7
(三) 国家战略及关键政策	9
(四) 工业数字化投融资情况	12
二、 新生态：产业全景概览	12
(一) 工业数字化产业全景图	12
(二) 基础设施层	25
(三) 边缘层	43
(四) 平台层	51
(五) 应用层	55
三、 新技术：从跟随到超越	59
(一) 工业软件	59
(二) 工业 App	70
(三) 人工智能	71
(四) 工业机器人	73
(五) 数字孪生	74
(六) 技术发展趋势	76
四、 新趋势：技术衍生新商业模式	78
(一) 协同制造	78
(二) 云边一体	86
(三) 柔性生产线/个性化定制	93
(四) 技术发展路径探索	102
五、 新势力：优秀企业案例	104
(一) 捷配	104
(二) 班德瑞	111
(三) 用友	115
(四) 华磊迅拓	120
(五) 蓝卓	125

图 目 录

图 1 数字化转型.....	4
图 2 “信息化”、“数字化”与“数字化转型”概念对比.....	5
图 3 各国政府的“工业数字化”政策.....	6
图 4 2022 年跨行业跨领域工业数字化平台名单.....	10
图 5 工业互联网功能架构图.....	13
图 6 国外部分重点企业.....	19
图 7 我国多层次系统化平台体系.....	21
图 8 网络通信结构图.....	31
图 9 标识解析服务器节点框架.....	40
图 10 现有标识解析体系.....	41
图 11 设备接入示意图.....	45
图 12 多种接口设备.....	48
图 13 边缘计算结构示意图.....	51
图 14 PaaS 层功能.....	53
图 15 SaaS 多种应用场景.....	57
图 16 工业数字化细分领域.....	58
图 17 2022 年工业数字化领域重点投融资事件.....	59
图 18 智能制造各层级结构示意图.....	61
图 19 MES 功能流程图.....	62
图 20 PLM 产品生命周期管理示意图.....	64
图 21 计算机辅助软件使用流程.....	66
图 22 AI 助力产业发展阶段图.....	72
图 23 数字孪生应用层级结构.....	76
图 24 工业数字化平台能力对比.....	78
图 25 PCB 行业产业链概述.....	79
图 26 捷配数智化协同工厂.....	81
图 27 协同制造服务体系 ECMS.....	83
图 28 数字经济推动服务贸易全球化.....	84

图 29	传统供应链（左）和数字化供应网络（右）	86
图 30	汽车产业供应链微笑曲线	87
图 31	新能源汽车“数字化→智能化”流程	88
图 32	装备平台管理模式图	90
图 33	智能家居产业链	91
图 34	家装行业传统业务流程	94
图 35	家装行业应用模式与路径	95
图 36	服装行业产业链	97
图 37	服装智能+应用场景	99
图 38	PCB 智能工厂整体解决方案	107
图 39	班德瑞工业数字化产品的技术架构简述	113
图 40	环保领域大型国企加速数字化转型的实践应用	114
图 41	集团化企业如何实现分公司的全流程管理	115
图 42	MES 工业互联网智能制造架构图	122
图 43	0rBit-MES/MOM 数字化工厂应用场景	123
图 44	supOS 工业操作系统架构	127
图 45	基于 supOS 数字化底座的智能工厂数据流向	129

一、新常态：回归长期主义

(一) 工业数字化发展历程与现状

1. 工业数字化的定义与内涵

所谓工业数字化，是在工业领域基于网络信息技术，推动技术进步、组织变革和效率提升的融合应用模式。数字化转型是通过信息通信等数字技术驱动的产业变革过程，以数据为关键要素，以网络信息技术在各个行业全面融合应用为主要过程，以提升企业整体质量和效益为目标，系统性变革企业的生产方式、商业模式和产业组织形式，包括“数字化、网络化、智能化”方面的转型升级。



来源：中国信息通信研究院整理

图 1 数字化转型

从“信息化”、“数字化”到“数字化转型”是一个信息技术赋能不断进化的过程。信息化指的是从模拟信息向数字信息转变，以数字形式提供和获取信息；数字化则是在信息化的基础上在流程中应用数字化信息，让工作数字化标准化。数字化相较于信息化，强调基于信息数据反哺业务，业务进一步促进系统的迭代优化。到了数字化转型层面，

则侧重于基于数字化创造新的商业概念，诞生新的商业模式，是在整个行业层面的转型升级。

2. 工业数字化的国际发展历程

美国工业互联网联盟（Industrial Internet Consortium, IIC）在其2020年发布的《工业数字化转型白皮书》中，针对工业领域，为工业数字化转型作出定义：工业数字化转型是利用物联网技术来改进流程和运营并取得更好的效果，包括新的商业模式、合作模式、运营模式、服务模式，IT与OT的融合是其主要特点。



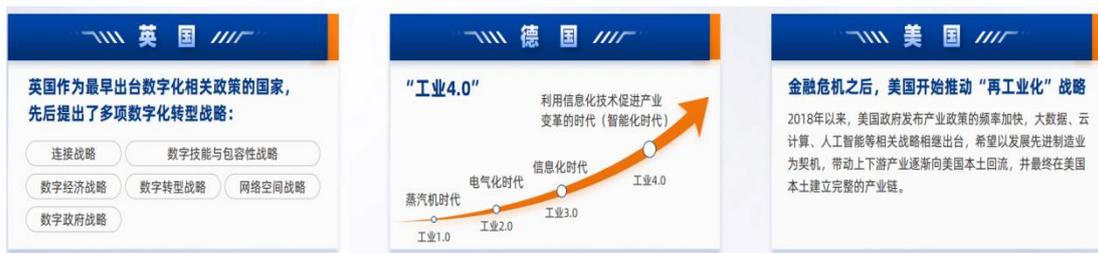
来源：中国信息通信研究院整理

图2 “信息化”、“数字化”与“数字化转型”概念对比

如今，工业数字化在世界范围内都深受重视，各国都在积极推动本国的数字化进程。作为世界上最早出台数字化相关政策的国家之一，英国政府先后多次推出了其数字化转型战略，为英国的数字化转型作全面部署，相关战略政策包括数字技能与包容性战略、连接战略、数字经济战略、网络空间战略、数字转型战略、数字政府战略和数据经济战略等等；德国则以“工业4.0”概念为核心，逐步完善本国产业数字化转型计划，为当地中小企业提供更加良好的发展环境。所谓工业4.0（Industry4.0）是德国基于工业发展的不同阶段所作出的划分：工

业 1.0 是蒸汽机时代，工业 2.0 是电气化时代，工业 3.0 是信息化时代，工业 4.0 是智能化时代，是利用电子信息技术推动全产业变革的时代。

在经历了金融危机，国内工业衰退之后，为了对抗产业“空心化”，美国推行“再工业化”战略，奥巴马任期内先后发布了“先进制造伙伴计划”、“先进制造业国家战略计划”、“加速美国先进制造业发展”“美国制造业及创新复兴法案”等一系列的政策举措，力图将美国的发展轨迹引导到能够充分发挥信息技术优势的战略轨道上来。特朗普上任之后，延续和发展了关于制造业发展的相关政策措施。2018 年以来，美国政府发布产业政策的频率明显加快，除先进制造业战略外，大数据、云计算、人工智能等相关战略相继出台，美国促进发展先进制造业相关政策体系不断完善，战略目标也愈发清晰，即以发展先进制造业为契机，带动上下游产业逐渐向美国本土回流，并最终在美国本土建立完整的产业链。



来源：中国信息通信研究院整理

图 3 各国政府的“工业数字化”政策

3. 工业数字化的国内发展历程

20 多年来，我国以电子信息制造业为重点，大力推动一二三产

业信息化发展，部分重点产业如电子信息制造业、通信业取得较大突破。2012年以来，随着新一代网络信息技术的快速发展，我国逐渐在部分领域建立局部优势。2015年，国务院发布“互联网+”行动计划，很快在两年后又发布《关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网指导意见》，将工业数字化视为支撑我国制造业数字化转型的重要路径和方法。

4. 工业数字化的产业规模

2021年，我国工业数字化产业整体规模突破1万亿元，超300座城市覆盖了高质量外网，连接了超过18万家工业企业；大型工业数字化平台超过100家，总接入设备超过7600万台。工业数字化应用已经延伸至45个国民经济大类，催生了平台化设计、智能化制造等新模式和业态。我国重点领域关键工序数控化率超过55%，数字化研发、设计工具的普及率高达74.4%¹。

(二) 工业数字化驱动因素

1. 国际格局动荡，夯实制造业根基

近年来，国际局势风云激荡，黑天鹅、灰犀牛事件层出不穷。16年特朗普就任美国总统，不久向中国举起贸易制裁“大棒”，自此引发世界范围内一股“逆全球化”浪潮，全球产业链、贸易链面临严峻挑战；20年新冠疫情波及全球，国际贸易和人员往来几乎停滞；22年初战火在乌克兰燃起，主要大国间对立加剧，世界粮食和能源安全再受冲击。在愈发不稳定的国际局势下，深度嵌入全球产业链的中国自然不

¹ 数据来源：中华人民共和国工业和信息化部

可能独善其身。在制造业领域，中兴、华为先后遭遇制裁，美西方屡屡在高科技领域对华“卡脖子”，先进制程芯片等科技产品成为了我国工业发展的瓶颈。为了应对外国技术封锁，保护我国国家安全，也为了推动我国制造产业的全面转型升级，实现高质量发展，夯实制造业根基，用先进数字技术赋能广大制造行业，突破瓶颈，提高生产效率成为制造业发展的重中之重。

2. 流量红利见顶，供应链价值凸显

中国是一个有 15 亿人口的庞大市场，在过去，中国企业立足庞大的本土市场便足以实现高速增长，早先的互联网企业更是热衷于走流量路线。然而近年来随着市场的逐渐饱和，蓝海变红海，流量红利几乎见顶，走量需要向走质量转变。提升服务水平，加强供应链质量受到越来越多的企业重视。要提升服务水平，抓住消费者，数据是极好的粘合剂，通过全场景的数字化，把海量碎片化信息整合起来，针对性提升运营服务，从而获得市场信任。而在生产端，中国庞大而全面的供应链一直是“中国制造”的坚实地基，在全球大环境恶化的背景下，稳定的中国供应链吸引着全世界企业投资布局。抓住时机，不断推进中国制造业的数字化进程，保持并扩大我国在供应链上的优势，是面对“百年未有之大变局”的必要准备。

3. 国家政策倾斜，顶层设计协调统筹

中国政府一直对我国工业的高质量发展和数字化转型升级给予高度重视。在 2021 年给世界互联网大会的贺信中，习近平总书记写到：“数字技术正以新理念、新业态、新模式全面融入人类经济、政

治、文化、社会、生态文明建设各领域和全过程，给人类生产生活带来广泛而深刻的影响。”这体现出中央对数字化未来重要性的肯定。国务院于 2015 年出台了《促进大数据发展行动纲要》，指出工业制造是国民经济的主体，大数据是工业发展的必然选择，企业是推进大数据创新的主体，再次强调了工业与数字化结合。2017 年底，国务院出台《关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》，成为了指导我国工业互联网发展的纲领性文件。2020 年 5 月，工信部发布《关于工业大数据发展的指导意见》，围绕进一步深化工业数据应用，从开展应用示范、提升平台支撑作用、打造应用生态等方面进行了重点部署，为推进更大范围、更高水平、更深层次的工业数据应用创新指明了发展方向。

(三) 国家战略及关键政策

1. 工信部双跨平台

2019 年 4 月，工信部发布了《工业互联网发展行动计划(2018-2020 年)》，提出到 2020 年底实现我国“初步建成工业互联网基础设施和产业体系”的发展目标，培育出一批独立经营的企业级工业互联网平台，建成工业互联网平台公共服务体系。为深入贯彻《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》，加快跨行业、跨领域工业互联网平台建设，2019 年 8 月，工信部公示了首批十家国家级“跨行业跨领域工业互联网平台”。到了 2022 年，名单增至 28 家企业平台。

2022 年跨行业跨领域工业互联网平台名单

单位名称	平台名称
海尔卡奥斯物联生态科技有限公司	卡奥斯 COSMOPlat 工业互联网平台
航天云网科技发展有限公司	航天云网 INDICS 工业互联网平台
徐工汉云技术股份有限公司	汉云工业互联网平台
北京东方国信科技股份有限公司	东方国信 Cloudiip 工业互联网平台
树根互联股份有限公司	根云工业互联网平台
浪潮工业互联网股份有限公司	浪潮云洲工业互联网平台
用友网络科技股份有限公司	用友精智工业互联网平台
重庆忽米网络科技有限公司	忽米 H-IIP 工业互联网平台
阿里云计算有限公司	阿里云 supET 工业互联网平台
浙江蓝卓工业互联网信息技术有限公司	蓝卓 supOS 工业互联网平台
上海宝信软件股份有限公司	宝信 xIn ³ Plat 工业互联网平台
深圳市腾讯计算机系统有限公司	腾讯 WeMake 工业互联网平台
华为技术有限公司	华为 FusionPlant 工业互联网平台
富士康工业互联网股份有限公司	富士康 Fii Cloud 工业互联网平台
北京百度网讯科技有限公司	百度开物工业互联网平台
湖北格创东智科技有限公司	东智工业应用智能平台
广东美云智数科技有限公司	美擎工业互联网平台
科大讯飞股份有限公司	讯飞 TuringPlat 图聆工业互联网平台
朗坤智慧科技股份有限公司	朗坤苏物工业互联网平台
山东蓝海工业互联网有限公司	蓝海工业互联网平台
橙色云互联网设计有限公司	橙色云工业产品协同研发平台
天瑞集团信息科技有限公司	天信工业互联网平台
中电工业互联网有限公司	中电云网 BachOS 工业互联网平台
江苏中天互联科技有限公司	爱尚 (ASUN) 工业互联网平台
广城铭岛数字科技有限公司	广城铭岛-际嘉工业互联网平台 (Geega)
华润数科控股有限公司	润联 Resolink 工业互联网平台
京东科技控股股份有限公司	京东 JD 工业互联网平台
摩尔元数 (福建) 科技有限公司	摩尔云工业互联网平台

来源：中国信息通信研究院整理

图 4 2022 年跨行业跨领域工业数字化平台名单

2. 双碳目标影响

随着以全球变暖为代表的一系列生态环境问题成为国际上被长期关注的热点问题，推行低碳绿色的生产生活方式成为国际社会的共识。中国在 2020 年 9 月的联合国大会上正式提出中国在 2030 年实现碳达峰，2060 年实现碳中和目标，这也是“双碳”目标的首次提出。

中国经济要实现高质量发展，低碳绿色也是“高质量”的重要组成部分，构建高效、清洁、低碳、循环的绿色制造体系是中国未来发展的应有之义，当前的制造业转型升级也必须是向着更低碳、绿色的方向发展。工业数字化降低了企业经营管理成本，提高生产效率，在减少纸张消耗、减少出行碳排放等方面卓有成效，数字化后被系统管理企业各项指标也有助于企业更好地管理自身的碳排放与资源消耗。

3. 专精特新企业

2021年1月，财政部、工信部联合印发《关于支持“专精特新”中小企业高质量发展的通知》，这是中央支持“专精特新”中小企业高质量发展的重要政策。“专精特新”是指具备专业化、精细化、特色化、新颖化特征的中小企业，这类企业在欧美发达国家数量众多，体量小但利润高，在各自的细分领域无可替代。“专精特新”企业也将是中国未来产业链的不可或缺的一环，是强链补链的主力军。当前，我国中小企业的数字化水平远远落后与大型企业，对数字化的应用还停留在大众即时通讯软件的使用上。面对经济下行压力和愈发“内卷”的国内市场，中小企业要在大企业夹缝中生存下来乃至脱颖而出，更应该积极进行数字化转型，运用数字技术加强自身优势，紧跟时代浪潮，最终成长为产业链上小而重要的一环。

(四) 工业数字化投融资情况

二、新生态：产业全景概览

(一) 工业数字化产业全景图

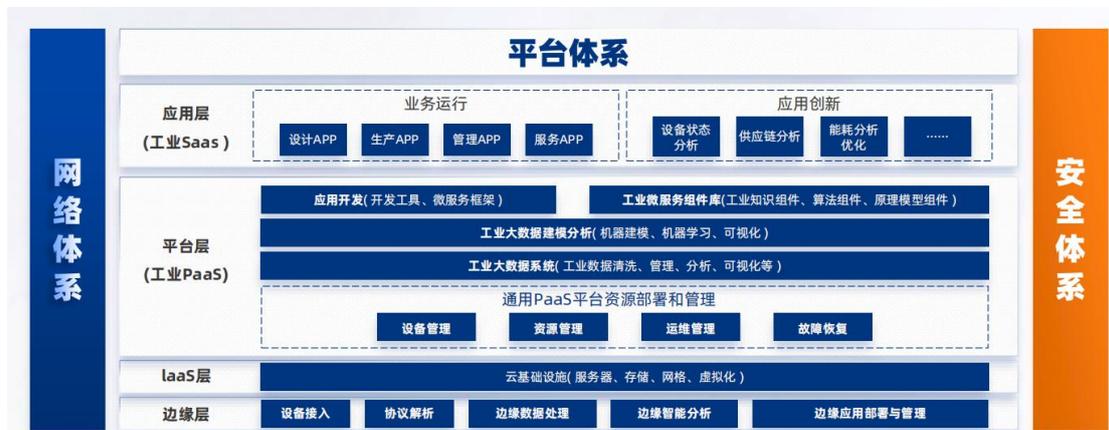
从整个数字化产业来看，我们可以把工业数字化产业看做通过数字技术和信息化手段，对传统工业进行全方位的数字化转型，以提高工业生产效率、优化资源利用、提高产品品质和降低成本。它是以人工智能、物联网、云计算、大数据、区块链等新技术为基础，打造智慧工厂、智能制造和智慧供应链的全新工业模式。

工业数字化产业不仅包括传统的工业生产过程，还包括工业生态系统中的各个环节，如供应链、设计、制造、销售等各个环节。通过数字化技术，工业企业可以实现生产过程的实时监测、全局优化和快速调整，同时通过数据分析和人工智能等技术，能够更好地预测和应对市场变化和客户需求，提高生产效率和降低成本。

在工业数字化产业中，物联网和传感器技术可以将所有物理设备连接到互联网，并实时监控设备的状态和性能，以实现更高效的生产调度和设备维护。人工智能和机器学习技术可以通过对海量数据的分析和学习，实现生产过程的自动化和优化，提高生产效率和降低成本。3D 打印技术可以快速制造各种物品，从零部件到成品，提高生产效率和灵活性。虚拟现实和增强现实技术可以帮助工人在虚拟环境中进行培训和模拟操作，并提高工作效率。大数据和数据分析技术可以帮助企业理解其业务和生产过程，优化生产线，提高生产效率和质量。自动化和机器人技术可以帮助企业实现自动化生产线和机器人化生

产。区块链技术可以确保企业供应链的可追溯性和透明性。云计算和边缘计算技术可以帮助企业将其生产数据和应用程序存储在云端或边缘设备上，从而提高数据安全性和可访问性。

综上所述，工业数字化产业是一个复杂而庞大的系统工程，涉及到许多不同的技术和领域的整合和协同作用，可以帮助企业实现数字化转型和智能化升级，提高工业生产效率、优化资源利用、提高产品品质。



来源：中国信息通信研究院整理

图 5 工业互联网功能架构图

1. 产业生态全景图

工业数字化通过数字技术和信息化手段，对传统工业进行全方位的数字化转型，以提高工业生产效率、优化资源利用、提高产品品质和降低成本。它是以人工智能、物联网、云计算、大数据、区块链等新技术为基础，打造智慧工厂、智能制造和智慧供应链的全新工业模式。

在工业数字化中，通过数字化技术，工业企业可以实现生产过程

的实时监测、全局优化和快速调整，同时通过数据分析和人工智能等技术，能够更好地预测和应对市场变化和客户需求，提高生产效率和降低成本。工业数字化还可以实现智能制造、智慧供应链和智慧工厂等全新的工业模式，从而实现更高效、更灵活、更具可持续性的生产方式。

工业数字化产业生态全景图是一个包含多个子领域的综合性生态系统，它涵盖了数字化制造、智慧工厂、智能制造、智慧供应链等多个领域，以及相关的技术和服务。

下面将列举一些数字化技术赋能传统工业行业的具体领域。

将制造领域融入数字化技术打造全新的数字化制造领域，数字化制造是指将设计、制造、生产等环节数字化，实现快速制造、定制化生产等目标。这个领域涵盖了 CAD/CAM 系统、3D 打印、CNC 加工、数控机床等相关技术，以及数字化模拟、虚拟现实等技术。

通过将传统工厂融入数字化技术可以建设新型智慧工厂，智慧工厂是指工厂生产通过物联网、云计算、人工智能等技术实现设备互联和自动化控制，提高生产效率和产品质量。智慧工厂领域应用了工厂自动化、智能制造、智能机器人、智能物流等相关技术，以及基于数据分析、人工智能等技术的预测维护、智能质检等服务。

传统制造方式没有采用智能化数字化技术，通过将传统生产线进行智能化改造打造全新的智能制造生产方式，智能制造是指利用人工智能、机器人、自动化等技术实现生产线自动化和机器人化，提高生产效率和产品质量。这个领域应用了工业机器人、智能物流、智能

传感器等相关技术，以及基于人工智能、机器学习等技术的智能制造管理和智能制造决策等服务。

通过将传统供应链加入现代物联网技术并且对供应链理论进行改进，就可以将传统供应链升级赋能成为智慧供应链，智慧供应链是指通过大数据、区块链等技术实现供应链的可追溯性和透明性，提高整个供应链的效率和质量。这个领域应用了供应链管理、供应链金融、供应链数据分析等相关技术，以及基于大数据和区块链等技术的供应链风险控制、供应链预测等服务。

在工业生产领域引入互联网技术，促进工业生产中的信息传递和要素流通。工业互联网是指通过物联网、云计算等技术实现工业设备互联和数据共享，实现设备的智能化和生产线的自动化。这个领域包括工业云平台、物联网设备、工业通信协议等相关技术，以及基于工业数据的分析和应用等服务。

当工业领域进行了网络化、数字化、智能化转型，随之而来的网络安全问题是十分棘手的，通过网络对工业互联网进行攻击会直接对生产产生实际的影响。工业安全是指保护工业控制系统和工业网络安全的技术和服务，以防止工业控制系统被攻击或破坏。这个领域包括工业安全设备、工业网络安全解决方案等相关技术，以及基于数据分析的工业安全评估和工业安全管理等服务。

工欲善其事必先利其器，使用优良的工业软件可以加快工业数字化转型。工业软件是指为工业生产提供支持的软件系统，包括计划调度、数据管理、设备控制等相关软件。这个领域包括工业软件开发、

工业软件销售等相关技术和服务。

工业智能化服务领域也相当重要，工业智能化服务是指为企业提供数字化转型和智能化升级的综合性服务，包括数字化转型咨询、智能制造解决方案、工业数据分析等相关服务。

工业生产过程中产生了大量的数据促使产生了工业大数据领域，工业大数据是指工业生产中产生的海量数据，包括设备数据、生产数据、质量数据等。这个领域包括工业数据采集、工业数据存储、工业数据分析等相关技术和服务，以及基于工业数据的决策支持和预测分析等应用。

随着数据积累和人工智能技术的发展，为了满足工业自动化的需求工业人工智能领域应运而生。工业人工智能领域：工业人工智能是指利用人工智能技术对工业生产中的数据进行分析 and 处理，以实现智能化的生产和管理。这个领域包括机器学习、深度学习、自然语言处理等相关技术和服务，以及基于工业数据的智能化决策支持和自动化控制等应用。

随着工业自动化的发展，工业生产效率和生产能力要求不断提高，更多工业行业开始应用工业机器人。工业机器人是指能够自主完成工业生产任务的机器人设备，包括工业机器人控制系统、机器人传感器、机器人操作系统等相关技术。这个领域还包括工业机器人应用、工业机器人开发等相关服务。

将物联网技术应用于工业领域，可以实现设备、系统和人员之间的关联和信息交流，从而提高生产效率、降低成本和提高产品质量。

工业物联网是指利用物联网技术实现工业设备互联和数据共享，以实现设备的智能化和生产线的自动化。这个领域包括物联网设备、物联网平台、物联网协议等相关技术和服务，以及基于物联网的智能化控制和管理等应用。

工业制造是指通过加工、装配等工艺将原材料转化为成品的生产活动。这个领域包括机械加工、电子制造、汽车制造、航空制造等相关制造业领域，以及工业机器人、数字化工厂、智能制造等相关技术和服务。

工业智慧城市是指以数字化和智能化技术为基础，实现城市工业的可持续发展和智慧化管理。这个领域包括工业园区智慧化、智慧交通、智慧能源等相关技术和服务，以及基于工业数据和人工智能的城市规划和管理等应用。

总的来说，工业数字化产业生态全景图覆盖了多个领域，包括工业物联网、工业云计算、工业安全、工业智能化服务等多个领域。这些领域之间相互关联、相互渗透，共同构成了一个庞大的工业数字化产业生态系统。在这个系统中，不同领域的企业、技术提供商、服务商、投资者等都扮演着重要的角色，通过共同合作和创新，推动着工业数字化产业的发展 and 壮大。工业数字化产业生态全景图是一个综合性的生态系统，包括多个子领域和相关技术和服务，这些子领域之间相互关联，相互促进，共同构建了一个数字化、智能化的工业生态系统。在这个系统中，企业可以通过数字化转型和智能化升级，提高生产效率、降低成本、提高产品质量和市场竞争力。

此外，工业数字化产业生态全景图还包括相关的技术和服 务，如云计算、物联网、大数据、人工智能、区块链、机器学习等，以及数字化转型咨询、智能制造解决方案、工业数据分析等服务。这些技术和服 务可以相互衔接，共同构建一个完整的工业数字化生态系统，帮助企业实现数字化转型和智能化升级。

同时，工业数字化产业生态系统也面临着一些挑战和难题，例如技术标准不统一、数据安全性和隐私保护等问题，这些都需要产业链上下游各方共同协作和解决。随着技术的不断发展和创新，工业数字化产业生态系统也会不断演进和变化，将为工业生产和管理带来更多的机遇和挑战。

2. 各环节重点企业

随着工业数字化技术的迅速发展和应用，越来越多的企业开始将数字化和智能化技术应用于工业生产和管理中。在工业数字化产业的全景图中，不同环节的企业都扮演着重要的角色，共同推动着工业数字化产业的发展和应用。这些企业涵盖了工业数字化产业的不同领域和细分市场，拥有着不同的技术和产品优势。本文将对工业数字化各环节重点企业进行介绍，从而更好地了解工业数字化产业的生态结构和企业格局。下面本文按照具体工业行业领域列举一些重点企业：

工业数字化领域是一个快速发展的领域，一些企业通过数字化技术和解决方案为制造企业提供全面的数字化支持。德国的西门子、ABB、ZEISS，在工业数字化和自动化、质量控制和人力资源管理领域具有显著影响力；美国的 Hexagon、UPS、IBM 和谷歌等公司则在

数字化测量、物流和供应链、ERP 系统以及在线培训领域处于领先地位。这些企业在推动着数字化技术的广泛应用和发展，对于提高生产效率、优化供应链、降低能源消耗等具有重要作用。同时，在工业物联网领域，西门子、GE、ABB、荷兰飞利浦、思科、波士顿科技等企业也在探索数字化工厂和工业自动化的新模式，并致力于实现数字化转型和管理。



来源：中国信息通信研究院整理

图 6 国外部分重点企业

同时，工业数字化领域还涵盖了工业云计算、工业安全、工业大数据、工业人工智能、工业机器人、工业自动化和工业软件等多个方面。在工业云计算领域，微软、AWS、阿里云、腾讯云等企业推出了 Azure、IoT 平台、MaxCompute 等服务；在工业安全领域，赛门铁克、卡巴斯基、McAfee、远望谷、深信服、启明星辰等企业推出了一系列工业控制系统安全解决方案；在工业大数据领域，IBM、SAP、

Oracle 等企业推出了 Watson 平台、SAP HANA 平台、Oracle Database In-Memory 技术等服务；在工业人工智能领域，谷歌、微软、IBM 等企业推出了 TensorFlow 平台、Cognitive Services 平台、Watson 平台等服务；在工业机器人领域，本田、雅马哈、ABB 等企业推出了 ASIMO 机器人、Motobot 机器人、YuMi 机器人等产品；在工业自动化领域，西门子、施耐德电气、罗克韦尔等企业推出了 Simatic 系统、EcoStruxure 系统、FactoryTalk 系统等服务；在工业软件领域，PTC、安捷伦、达索系统等企业推出了 ThingWorx 平台、LabVIEW 平台、CATIA 平台等服务；在工业云平台领域，阿里云、腾讯云、华为云等企业推出了 ET Industrial Brain 工业大脑、Tencent Cloud IoT Explorer、CloudFabric 2.0 等服务。这些企业的数字化技术和解决方案为制造企业提供了全面的数字化支持，同时也推动着数字化技术的广泛应用和发展。

此外，我国的企业也初步形成了多层次系统化的工业互联网平台体系，主要可以分为三种平台：

第一，双跨综合平台，是根据数据、模型、算法等汇聚配置的枢纽，随时间推移规模效应愈发显现。

第二，行业/区域特色型平台，可以聚焦特定行业或区域，促进行业知识、机理模型、数字化工具沉淀复用，促进区域资源协同。

第三，专业技术型平台，基于自身技术优势和资源积累，聚焦某些技术领域，进行跨行业的解决方案赋能。



来源：中国信息通信研究院整理

图 7 我国多层次系统化平台体系

这些企业在工业数字化产业的各个环节中发挥着重要作用，通过数字化技术和解决方案的创新和应用，为工业数字化产业带来了重大的提升和改变。这些企业的创新和成功经验为其他企业提供了重要的借鉴和参考，推动了全球工业数字化产业的不断发展和壮大。通过数字化技术和解决方案的应用，这些企业为制造企业提供了更高效、更精准、更安全的数字化支持，从而实现了生产制造和运营管理的全面转型和升级。除此之外，这些企业在数字化人才培养、数字化生态建设、数字化标准化和合作等方面也做出了突出的贡献，促进了工业数字化产业的全面发展和繁荣，共同推动着工业数字化产业的发展和应用。

3. 工业数字化产业组织

美国工业互联网联盟（Industrial Internet Consortium, IIC）：该组织成立于 2014 年，旨在推广和应用工业互联网技术，促进工业数字化转型。其成员包括制造商、供应商、服务提供商、研究机构和政府机构等。该组织主要开展智能制造、物联网、人工智能等方面的研究和应用。IIC 是一个由工业制造业、技术供应商、学术机构和政府机构等组成的非营利性联盟，致力于推动工业互联网技术和应用的发展。该组织的主要任务是促进工业互联网技术的创新和应用，推进技术标准化和开放性架构的发展，以及加强安全和隐私保护方面的工作。IIC 在工业互联网技术的标准化和推广方面发挥着重要作用。该组织制定了一系列的技术规范和标准，如工业互联网参考架构、工业互联网安全框架、工业互联网测试床等。同时，IIC 还积极开展工业互联网技术的应用案例研究和实验室试验，推动工业互联网技术在各个领域的广泛应用。

德国工业 4.0 (German Plattform Industrie 4.0) 是德国政府在 2011 年提出的战略计划，旨在推动德国产业升级转型。该计划主要基于先进的信息技术，包括物联网、云计算、大数据、人工智能等，将现有的制造业与信息技术相结合，形成一个智能化的制造系统，从而实现生产流程的高效自动化和灵活化。德国工业 4.0 的核心目标是提高生产效率、降低成本、加强产品创新和个性化定制能力，并且支持可持续发展。它通过采用数字化技术来优化生产流程，以便更快地满足市场需求。这样可以提高企业的竞争力，同时也有可能带来更高的利润和就业机会。德国政府重视工业 4.0 的发展，并且积极推动相关产业

的发展。德国 **Plattform Industrie 4.0** 组织由政府、企业和研究机构共同组成，该组织汇聚了德国大部分的制造商、供应商和科研机构，致力于推广工业 4.0 理念以及数字化生产技术和标准化、促进产业创新和发展，并为企业提供相关的技术支持和咨询服务。

总的来说，德国工业 4.0 是一个具有远见和实践价值的策略计划，通过数字化和智能化手段，将传统的制造业升级为更加高效、灵活和可持续的产业体系，使德国成为全球领先的制造业大国之一。

中国机器人产业联盟，该组织旨在促进中国机器人产业的发展和 innovation。它的任务包括推广机器人技术和应用，提升产业整体水平，加强国内外交流与合作等方面的工作。中国机器人产业联盟在工业数字化方面起到了重要的作用，推动了工业机器人与智能制造的融合，随着工业 4.0 和智能制造的发展，机器人已经成为推动工业转型升级和数字化转型的重要力量。中国机器人产业联盟通过组织机器人产业技术创新、标准制定与推广等活动，推动机器人与智能制造的深度融合，促进机器人在智能制造中的应用和发展。支持了工业智能化平台建设，中国机器人产业联盟积极支持工业智能化平台建设，通过与政府部门、企业和科研机构等多方合作，共同研究工业智能化平台的设计、开发和应用，提高工业智能化平台的技术水平和市场竞争力。

中国工业互联网产业联盟是由中国工信部领导成立的，它旨在促进工业互联网的发展、普及、发展和应用。它的任务包括推动工业互联网标准和规范的制定，支持产业创新和应用，加强国内外交流与合作等方面的工作。该联盟是由相关政府机构、企业、高校、科研院所

等组成的。其宗旨是推动我国工业互联网的发展，加强行业间的交流与合作，促进工业互联网技术和标准的创新和发展。联盟的主要职责包括：建立工业互联网发展的技术标准和规范；推广工业互联网的应用及其技术创新；搭建工业互联网的服务平台，为会员提供相应的技术支持和服务；加强国内外工业互联网领域的合作与交流等。目前，中国工业互联网产业联盟已经成为我国工业互联网领域的重要组织之一，得到了国内外众多企业和机构的积极参与和支持，为工业互联网的快速发展提供了有力的技术和政策支持。

中国工业互联网研究院是在中央编办的正式批准下成立的。其主要任务是贯彻习近平总书记关于工业互联网的指示精神，落实党中央国务院有关加快工业互联网新兴基础设施建设的决策部署，开展工业互联网相关的发展战略、规划、政策、标准研究以及网络、平台和安全体系建设等方面的工作。其目标是打造成为工业互联网领域世界知名的重要智库和技术创新源泉，同时也是政府监管的重要支撑、企业赋能的重要动力、拔尖人才的重要基地和国际合作的重要平台。其主要任务包括：深入研究工业互联网核心技术和关键问题；搭建工业互联网创新生态体系，加强产学研合作；推广工业互联网标准和规范，促进工业互联网应用的普及和推广；培养工业互联网人才，为我国工业互联网发展提供人才支持。目前，中国工业互联网研究院已经成为我国工业互联网领域的重要研究机构之一，为工业互联网技术和应用的创新和发展做出了积极的贡献。

（二）基础设施层

随着信息技术的不断发展，工业互联网正逐渐成为工业领域中的热门话题。而作为支撑整个工业互联网系统的基础设施层，则是实现工业互联网应用的关键。IaaS层中间桥梁连接设备和平台应用，为平台层和应用层的稳定运行提供坚强的基础服务保障。该层的主要作用是为其它层提供云基础，例如向其它层提供存储资源、网络资源、计算资源等，为整个工业互联网平台平稳运行提供支持。这一层的重要技术是虚拟化技术，该层通过利用高负载调度、并发式计算、分布式存储等数字化技术来实现资源服务设施的动态管理，这些技术的融合与应用，可为企业提供强有力的支持，使其更好地应对复杂的市场环境和激烈的竞争态势。在下面的篇幅中，我们将详细介绍基础设施层及其技术组成。

1. 智能终端生产设备

智能终端生产设备是指利用先进的信息技术和自动化技术对传统生产线进行改造，建立起基于数据、互联网和人工智能的全新模式。智能终端生产设备具有高度集成化、高效自动化、高质量稳定性、高灵活性等特点。

智能终端生产设备的核心技术包括机器视觉、传感器、运动控制、物联网、大数据分析以及人工智能等。通过这些技术的应用，可以实现生产过程中的自动调节、实时监控、远程操作和预警等功能，从而提高生产效率和质量，并且降低生产成本。

在智能终端生产设备中，所有设备都被连接到一个网络上，形成

一个完整的系统。生产线上的各个部分可以实现自主协作，形成“智能体系”，对生产过程进行实时监控和调整。同时，通过大数据分析和人工智能算法的应用，生产线可以实现更加精准的预测和规划，提高生产效率和灵活性。

智能终端生产设备已经广泛应用于汽车、电子、机械制造等领域，并且正在不断地向更多的行业和领域扩展。未来，随着信息技术和自动化技术的不断发展，智能终端生产设备将会更加普及和完善，为企业带来更多的商业价值和竞争优势。

智能终端生产设备是工业数字化的一个具体应用场景或者子领域。工业互联网把物理世界与数字世界无缝连接起来，通过网络和传感器技术实现设备、产品、人员、信息等各种资源的高效协同，并通过大数据、云计算和人工智能等技术实现数据的采集、分析和利用，从而提高工业生产效率和质量的一种新型生产模式。

智能终端生产设备则是工业数字化在生产线领域的具体应用。智能终端生产设备采用了自动化、机器视觉、传感器、物联网、大数据分析和人工智能等技术，将生产线上的各个设备、工具、机器人等资源进行连接和协同，从而实现生产过程的自主调节、实时监控、远程操作和预警等功能，提高生产效率、灵活性和质量稳定性。

因此，可以说智能终端生产设备是工业数字化技术在生产线上的具体应用，二者有着密不可分的关系。智能终端生产设备的发展推进了工业数字化的进一步普及和应用，而工业数字化技术的不断发展也为智能终端生产设备的进一步升级和优化提供了更多的可能性。

2. Iot 传感器

传感器通过收集数据以做出更明智决策来助力物联网 (IoT) 发展。了解 TE Connectivity (TE) 传感器在消费类设备、工业 4.0 和医疗卫生（包括远程患者监控）等方面的应用。

物联网传感器 (IoT Sensors) 是指可以将现实世界的物理量转换成数字信号，并能够通过互联网连接到其他设备和应用程序的装置。这些传感器能够感知和收集环境中的各种信息，例如温度、湿度、光线、声音、位置和运动等等。通过安装物联网传感器，我们可以将现实世界中的数据收集起来，然后将其发送给云端服务器进行处理和分析。这些传感器可以帮助我们更好地了解我们周围的环境，从而使我们可以更有效地管理和控制我们的生活和工作空间。在现代社会中，物联网传感器已经被广泛应用于许多领域，如智能家居、工业自动化、智能交通、健康监测和环境监测等等。随着技术的不断进步，物联网传感器将会变得越来越普及，并对我们的生活产生越来越大的影响。

物联网传感器通常由多个组件构成，包括传感器元件、信号处理器、通信模块和电源等。传感器元件是物联网传感器的核心部分，它们负责感知和测量环境中的各种信息。例如，温度传感器可以测量温度，湿度传感器可以测量湿度，运动传感器可以检测物体的运动状态，位置传感器可以确定物体的位置等等。这些传感器元件可以使用不同的技术，如光学、电子、声学、化学和机械等等。信号处理器是另一个重要组件，它可以将传感器元件生成的模拟信号转换成数字信号，并对其进行处理和分析。通信模块则是负责将处理后的数据发送给其

他设备或云端服务器。最后，电源则为整个系统提供所需的能量。

物联网传感器可以应用于多个领域，如智能家居、工业自动化、智能交通、健康监测和环境监测等等。在智能家居中，物联网传感器可以帮助人们实现更加智能化和便捷的生活方式。例如，温度传感器和湿度传感器可以协同工作，自动调节室内温度和湿度；运动传感器可以检测家庭成员的活动情况，帮助老人和残疾人保持安全；位置传感器可以追踪物品的位置，避免了丢失和损坏等问题。

此外，应当特别指出的是物联网传感器在工业上的应用非常广泛，可以帮助企业实现智能制造和自动化控制，提高生产效率和产品质量。以下是物联网传感器在工业中的主要应用和价值：

在工业自动化领域，物联网传感器可以协助工厂实现智能制造和自动化控制。例如，流量传感器可以监测产品流程的变化，控制产线的速度和效率；温度传感器可以检测生产过程中的温度，防止设备过热或过冷；振动传感器可以检测设备的震动和噪音，预测可能出现的故障等等。

在监测和控制生产过程方面，物联网传感器可以监测生产过程中的各种参数，如温度、湿度、压力、流量、振动等等，并实时反馈给控制系统。这些数据可以用来优化生产过程，提高生产效率和产品质量，同时也可以预测可能出现的故障和问题，降低维修成本和停机时间。

在保障工人安全方面，物联网传感器可以监测工作场所的安全环境，如气体、烟雾、火灾等，以及检测危险设备的运行状态。这些数

据可以用于实时预警和报警，以保障工人的生命安全和身体健康。

在管理库存和物流方面，物联网传感器可以追踪物品的位置和状态，以便更好地管理库存和物流。例如，在仓库中部署 RFID 标签或传感器，可以实时跟踪物品的位置和数量，并帮助企业减少库存、提高工作效率和降低运营成本。

在节能环保方面，物联网传感器可以通过监测能源消耗和环境指标，如能耗、碳排放、水质等等，来帮助企业实现节能环保。例如，在工厂中部署能源监测传感器，可以实时监测设备的能耗情况，并根据需要进行调整，以达到节能减排的目的。

在优化客户服务方面，物联网传感器可以通过收集客户数据和行为信息，来优化客户服务。例如，在工业领域中，企业可以使用传感器监测产品的使用情况和用户反馈，以改进产品设计和服务模式，提高客户满意度和忠诚度。

总之，物联网传感器在工业上的应用已经逐渐成为趋势，它可以帮助企业实现更高效、更安全、更节能、更环保、更优质的生产和服务，从而提高企业的竞争力和市场份额。

3. 网络通信

工业数字化是实现将物理设备、生产流程和企业组织等各个方面通过网络连接起来，实现数据共享和协同处理的一种新型工业模式。网络通信技术是工业互联网建设和运营中不可或缺的一环，它可以帮助企业搭建高效稳定的通信网络，实现信息的快速传输和数据的集成分析，对提升企业生产效率、降低成本、优化生产过程等方面都具有

重要意义。通过网络通信技术实现设备之间的数据共享和协同处理，可以更加精准地掌握生产情况，及时发现问题并进行调整，从而提高生产效率。网络通信技术可以实现设备的远程监控和管理，避免了人力资源的浪费和设备的闲置，同时也减少了设备故障带来的损失，从而降低了生产成本。通过网络通信技术收集和分析大量的生产数据，可以深入了解生产过程中存在的问题，进而进行优化和改进，提高整体生产效率。通过网络通信技术实现设备之间的联动和协同，可以为用户提供更加个性化的服务，改善用户体验，提升品牌价值。

按照有线无线标准进行分类，有线网络主要由现场总线和工业以太网等技术组成，在当前，运行在工业现场的设备主要由采用了有线通信网络技术的设备组成，这是因为有线通信技术能够满足信息采集和上传的实时性要求，并且可以对生产过程进行实时监控。

首先，现场总线（**Fieldbus**）是一种用于工业控制系统中的通信协议，它允许各种设备在控制系统内进行通信和数据交换。现场总线可以将传感器、执行器、控制器和其他设备连接到一个单一的网络上，从而实现智能化控制和集成化管理。

现场总线有很多不同类型的标准，包括 **Foundation Fieldbus**、**Profibus**、**DeviceNet**、**CANopen** 等等。每种标准都有其特定的应用领域和功能，但它们都具有以下一些共同特点：数据传输速度快。现场总线可以实现高速数据传输，比如快速读取传感器的数据或控制执行器的动作。数据可靠性高：现场总线采用数字信号传输，避免了模拟信号传输时的干扰和误差。系统灵活性强：现场总线可以容易地添加

或删除设备，同时支持多种设备类型之间的互联。系统维护方便。现场总线可以通过软件进行诊断和故障排除，从而简化了系统的维护和管理。

现场总线经过在生产一线的长期检验，已经成为工业通信的主要通信方式，它在测控设备间进行双向串行多节点的数字通信方式，相当于工业生产当中的局域网。当然，现场总线技术还存在相当多的局限性，现场总线技术的类型很多，而且硬件和软件都有其自己拥有的体系，不同的总线技术相互之间不能兼容；现场总线还是专用的实时通信网络，其开发难度高，并且其成本比较高，现场总线的通信传输速度收到限制，可以提供支撑的应用范围小。

总的来说，现场总线是现代工业控制系统中不可或缺的一部分，它可以提高生产效率、减少故障率、降低成本并增强系统的可靠性。



来源：中国信息通信研究院整理

图 8 网络通信结构图

下面再来看工业以太网的介绍以及相关特点，工业以太网是指

将以太网相关构件和技术应用于工业生产领域当中的自动化控制和过程控制的一种工业网络。工业以太网的特点如下：工业以太网传输速率高，其传输介质类型种类丰富可以根据不同场景进行选择，并且工业以太网可以很容易的实现组网，并且与 **Internet** 连接也可以很容易的实现。此外工业以太网具有电磁兼容性和耐受高低温环境的优势，这种特点让其满足在一般工业环境下进行采集数据的工作需求。

最近几年来，工业以太网逐渐在工业数据的采集方面的市场领域占比开始逐步上升。目前在市面上行业运用比较多的工业以太网主要有三类：第一种是以标准 **TCP/IP** 协议栈为基础改进的工业以太网，这种网络主要是在网络的应用层增加了实时通信的机制，这种网络的兼容性比较强，但是其实时性能收到限制和影响。第二种是基于标准的以太网协议改进的工业以太网，这种网络主要对包含网络层在内及以上的层次增加了实时性相关功能改进，对比于第一种网络协议来说，这种网络的实时性大大增强了，但是无法与现有主流的 **TCP/IP** 网络协议进行兼容。第三种是实时性改进的以太网，为了保证循环周期在 **100** 微秒到 **1** 毫秒的实时性和确定性，实时性改进的以太网对现有以太网的数据链路层进行了升级。然而，这种改进几乎无法与其他网络兼容。

工业以太网的局限性：工业以太网主要依靠主设备的专用网卡或硬实时操作系统来实现周期管理，这会增加系统成本并降低通用性。同时，主站开发环境所需的许可证和从站专用芯片或 **IP** 核的价格也相当昂贵。虽然工业以太网技术提高了开放性和协议间的兼容性，但

由于它们在链路层、网络层、传输层和应用层所采用的技术不同，导致互联互通性仍存在问题。随着大数据和云计算等技术进入工控领域，需要保证数据传输的实时性和确定性。然而，现有的实时以太网协议已经无法满足这个需求。

此外，无线网络通信技术也正在逐步应用于工业数字化转型，具有代表性的技术有：在短距离通信技术方面有 Bluetooth、RFID、Zigbee、WIFI 等，这些技术可以用于生产过程当中的传感数据读取、资产管理、AGV 网络连接；在专用工业无线通信技术方面有 WIA-PA/FA、WirelessHART、ISA100.11a 等通信协议标准；此外还有蜂窝无线通信技术，其主要用于智能产品、移动设备、手持终端等的网络连接。

工业无线网络通信的优势：一是可大幅降低网络建设和维护成本。无线网络能快速部署，无须铺设线缆及相关保护装置。二是提高生产线的灵活性，无线技术实现了现场设备的移动性，可以根据工业生产及应用需求，快速的实现生产线的重构，为实现柔性生产线奠定技术基础。三是实现部署环境的广泛性，由于无线技术突破线缆部署限制，具有网状网、星型网等多种网络部署架构，在各种工业场景下都可实现快速部署。

德国在其工业 4.0 计划中，已经将无线通信技术例如工业 4.0 网络通信技术的重点研发部分，其最初计划要在 2018 年设计完成公共 5G 网络基础设施的设计和标准，为其在工业中实现无线网络覆盖奠定基础；2020 年，计划将最新的无线局域网和近场技术投入工厂使用。

美国工业互联网联盟 IIC 也将无线技术视为工业中的重要应用，成立了专门的网络连接组来研究网络技术，其中 Wi-Fi、NFC、Zigbee、2G/3G/4G 等无线技术被认为是连接传输层的重要技术。在网络连接文档中，对网络的时延、可靠性、可扩展性等都有明确的规定，这表明无线技术在工业中应用的发展需要建立在稳定、高效和可靠的基础之上。

此外，无线通信方式虽然在工业环境使用中有以上的便利，但是还是存在着很多需要解决的问题。工业无线通信面临的挑战主要包括以下方面：

电磁环境干扰：工厂环境中存在大量的电磁辐射源，如电机、变频器等设备，它们会对无线通信信号产生干扰，导致通信质量下降甚至中断。

接入能力限制：在有限的空间内，需要同时接入大量的传感、控制和作业设备，这对无线网络的接入能力提出了较高要求。如果网络无法满足设备的接入需求，将影响工厂的正常运行。

技术局限性：现有的无线技术在满足工业应用需求方面还存在一些局限性。例如，工业互联网需要高速率、高可靠性和广泛互联，但现有的无线技术难以同时满足这些需求。

设备融合问题：现有无线技术与工业设备、仪表的融合还需要加强，这是因为现有的无线芯片设计及封装等工艺难以满足工业设备的高温、高湿、本质防爆等要求。如果无法满足这些要求，将限制工业设备的使用范围和效果，影响工厂的生产效率和安全性。

由以上几种网络通信方式可知，在工业数字化方面，以有线通信和无线通信为代表的一些通信技术正在快速发展，在不久的将来随着更先进的通信技术应用，工业领域会更加深入的实现数字化转型。

4. 云基础设施

传统工业企业随着数字化转型迎来了上云潮流，工业企业上云是将企业的信息和应用程序迁移到云端，以提高企业的效率、灵活性和可靠性。企业采用云服务后可以降低成本，云计算服务通常采用按需付费模式，使得企业可以根据实际需求灵活地使用计算资源，避免过度投资和浪费。此外，云服务商提供的基础设施和管理服务也可以帮助企业降低 IT 运维成本。企业采用云服务后也加强了企业的灵活性，通过云计算，企业可以快速响应市场变化和业务需求，灵活地调整计算资源和应用程序。同时，云服务商提供的可扩展性和弹性也为企业提供了更好的业务支持。企业采用云服务后还可以增强安全性，云服务商通常具备更好的安全设施和技术，能够提供更好的数据保护和安全性保障。同时，云计算也可以通过集中管理及监控来提高整个系统的安全性。云平台帮助去也提高效率，云计算具有自动化管理的特点，能够减少人工干预和管理的时间和成本。此外，云计算的高可用性和弹性也能够最大程度地减少系统的停机时间和故障影响范围，提高了企业的生产效率。采用了云平台可以加强企业内部的协作，云计算提供了多种协作工具和软件，使得企业内部的沟通和协作更加高效和便捷，并且支持远程协作。

基于云平台对于企业的赋能和提升，工业和信息化部为加快工业

互联网以及工业数字化基础设施建设及推广，在 2019 年 1 月 18 日引发了《工业互联网网络建设及推广指南》。

根据《推广指南》，到 2020 年，工业互联网应形成相对完善的网络顶层设计，并初步建立起基础设施和技术产业体系。其中一项任务是建设适用于工业互联网高可靠、广覆盖、大带宽、可定制的企业外部网络基础设施，以满足试验和商业需求，并支持互联网协议第六版（IPv6）。同时还要建立一批工业互联网企业内标杆网络，以作为企业内部网络建设和改造的典型模式，并完成 100 个以上企业内部网络的建设和升级。基于此对于云基础设施建设已经是迫在眉睫的行动。

工业互联网云基础设施是将物联网、云计算、大数据等技术应用于工业制造领域的一种新型基础设施，主要包括以下几个部分：

云计算平台：云计算是工业互联网基础设施的核心之一。它可以提供云服务，包括计算能力、存储、网络等资源。通过云计算，生产企业可以实现自动化控制、智能数据分析、协同设计等功能。

物联网平台：该平台是连接工业物理世界与数字世界的关键环节。它可以对工业设备进行接入、数据采集、远程监控等操作，从而实现生产过程的实时感知和数据收集。

大数据处理中心：工业互联网云平台可以承载海量数据，并运用大数据技术，如机器学习、数据挖掘等方法进行数据分析和建模，以发现有价值的信息并支持决策。

安全防护系统：由于涉及到生产企业的重要资产和机密信息，安全防护成为工业互联网云平台的必备环节，它包含了从设备硬件到软

件系统各个方面的安全措施。

应用软件：针对工业生产管理场景的软件应用程序，例如 MES（制造执行系统）、SCADA（监控与数据采集系统）等，协助企业实现对生产流程的管理和优化。

工业互联网云基础设施可以帮助生产企业实现生产过程的数字化、网络化、智能化和安全化，提升生产效率和管理水平，进而促进工业转型升级和智能制造的发展。

这些基础设施的组件包括硬件设施和软件设施并且依靠跨层工业 SDN 进行连接。分别按硬件和软件进行介绍，硬件设施由应用服务器、存储、组网设备等组成；软件设施有系统、数据可、操作系统、消息队列、消息代理等组成。

这些物理组网设备可以使应用服务器和存储实现高速的可靠的连接，这些设备有交换机、路由器和其它组网设备。工业 SDN 的一部分由这些设备组成，它们进行组合运行后可以搭建虚拟化网络结构，并且与 SDN、网络功能虚拟化(Network Functions Virtualization, NFV)等一些组网技术协作，可以满足各种服务等级协议的网络服务，并将并将这些服务分布在不同的网络逻辑切片中。这些网络设备具有快速安装、调整和回收的特点，同时满足高质量的业务要求(QoS)。

软件设施直接参与进行云设施架构。云平台化软件直接提供云服务例如：虚拟计算、存储和网络资源，以及云基础架构能力，比如 Hadoop、OpenStack、Cloud Foundry 等软件；Hadoop 分布式文件系统（Hadoop Distributed File System, HDFS）、云数据库等可以提供云

存储服务；MapReduce、SPARK 等可以提供云计算能力。这些软件资源能够为工业应用提供支持和服务，用户和企业可以充分利用这些资源和功能来增强其工业应用的能力和效率。

5. 标识解析体系

2018 年思科 VNI 的报告指出，机器设备连网数量将达到 146 亿，份额将占 51%，达到了全球联网设备的一半以上。工业生产的特殊性要求工业网络传输大量不同的数据，这些数据数量庞大，具有异构、多源、多模态的特点，这些数据通常混杂多种协议，以多种命名格式并存。普通互联网的域名系统（DNS， domain name system）在解析域名过程中会面临服务质量、安全性、解析方式、标识主体等多种挑战，不能适应于工业网络的需要，其中的原因可以归结为以下几个方面。

标识内容发生了变化，工业互联网与一般互联网是非常不同的，工业互联网的标识实体相较于传统网络发生了巨变，再也不是只标记固定主机而是转换为以人、机、物、服务、内容为标识内容，因此域名分析结果也由 IP 地址变成了各种数字内容。因此，现存的 DNS 服务暴露出了很大问题，DNS 服务内容非常单一，其对资源不能够完全描述出其内容。没有办法对服务、传感器、物品进行标识，而且其解析效果单一，只有 IP 地址这样一种结果，因此其无法满足工业需求中的多样化要求。

在未来，工业标识数据量将比现有互联网大得多，并需要极低的时延。到 2020 年，中国工业互联网标识注册量将超过 20 亿。然而，

现有的 DNS 采用中心化和层级树状结构，这在面对海量数据时会导致单点负载过重和服务拥塞的问题。因此，它无法满足工业互联网所需的海量数据解析和超低时延要求。

工业互联网的普及使得安全和隐私保护变得更为复杂。由于工业互联网连接了产业上下游，责任边界变得模糊不清，导致安全防护面临巨大挑战。对于工业互联网服务来说，与企业生产和人员安全有密切关联，因此对安全的要求更高。然而，现有的 DNS 协议在设计时未考虑到安全因素，导致协议本身存在漏洞，使 DNS 面临各种威胁，如缓存投毒、中间人攻击等。此外，工业互联网通信主体多样，许多传统 DNS 防护机制采用基于 IP 地址的访问控制，无法满足工业对隐私保护和安全的需求，这使得问题更加严峻。

工业互联网设计的时候希望为每个设备都要提供公平对等的标识解析服务，因此，对于每一个用户都应当是中立、同等的态度。但是，DNS 因为其本身采取的层次树状结构，可能会存在解析服务在上层被非法入侵而使企业受到损失，因此无法达到公平良性对等的解析生态要求。

鉴于 DNS 的设计模式与工业互联网需求存在冲突，单纯依靠 DNS 无法满足对海量、多样化通信主体进行对等、安全、低时延解析的要求。因此，目前全球范围内正在积极推进面向工业网络的标识解析体系研究，一些成果也已经被取得。同时，工业互联网标识解析建设可以带来非常大的商业利益，涉及各国核心利益，因此国家高度重视这一领域，开启了相关标准和技术的研究和指定，并且开始建设

重大工程。根据工业和信息化部《工业互联网发展行动计划（2018—2020年）》，我国将在2020年底前初步完成工业互联网基础设施和产业链条的构建，建设约五个国家顶级节点用于标识解析，标识注册量预计超过20亿。

按照相关要求和计划，我国计划将标识解析体系分为四个架构主要包括：国际根节点、国家顶级节点、二级标识解析节点和公共递归解析节点。每一个层次的节点负责保存和解析的信息不同，根节点由管理层负责，其主要作用是保存最顶层的信息；北京、上海、广州、武汉和重庆分别部署有国家顶级节点，其主要作用是对外联络联通国际根节点并且对内管理统筹，可以兼容解析现存主流的多种标识解析体系；二级节点可以为各个工业行业进行标识注册和标识解析服务；递归节点的作用是提前缓存信息来加快解析网络的解析速度和性能。到目前为止，我国已经建成五个国家顶级节点，各地正在统筹规划建设探索行业性二级节点。



来源：中国信息通信研究院整理

图 9 标识解析服务器节点框架

在当前情况下，世界范围内出现了各种各样的标识解析体系，根

据其所依据的技术基础不同可以分为两类。第一类技术是根据现有的 DNS 框架结构进行改进升级来进行工业互联网的标识解析服务，这种方式属于基于 DNS 的改良路径。这里面一些有代表性的协议标准有电子产品代码（EPC）技术由美国麻省理工学院研发提出、对象标识符（OID）技术由国际电信联盟 ITU-T 和国际标准化组织 ISO/IEC 共同研发制定，以及物联网统一标识（Ecode）技术和国家物联网标识管理公共服务平台（NIIoT）这两个标准是由中国研发制定的。还有一类是专门针对工业互联网使用新需求而单独构思，单独设想的全新标识解析体系，这类系统是与 DNS 技术没有相关性的，这类技术路线代表的体系结构有以下部分，句柄（Handle）标识解析技术这项技术由 DONA 进行管理，泛在识别技术（UID）这项技术由东京大学提出，还有一些其它的体系标准。



来源：《工业互联网标识解析体系综述》

图 10 现有标识解析体系

相比较而言，基于 DNS 的改良方法的体系结构更可能得到实现，因为这些体系结构只需要基于传统的 DNS 架构进行改进和提升就可以实现域名解析服务，而且带来的优点还有体系结构比较简单而且在

实际部署过程中速度较快，但是这类体系结构有很大的缺点，就是不能符合工业数字化的新要求，而且这类体系的域名解析服务功能比较繁杂。脱离 DNS 路线的创新革新路线是按照工业互联网的实际要求研发创造出来的新体系结构，这类结构可以更好的补充传统的 DNS 结构的缺陷，而且因为是专门基于工业互联网体系研发，可以更好的满足工业互联网的需求。但是新研发的革新体系结构不能使用现存的传统域名解析系统的基础设施，需要重新对各种支撑协议设施进行部署，存在高成本、长周期的缺点。

基于我国工业互联网发展的现实需求和全球多种标识体系并存的情况，我国自主规划设计并建设了国家工业互联网标识解析体系，实现了对 VAA、Handle、OID、Ecode、GS1、MA 等多种国际主流标识体系的互联互通，根据工业互联网的要求，需要对多种物体进行唯一的 ID 标识，例如生产产品、生产设备、工人、甚至数字内容，通过将这些物体进行标识，才可以促进多种生产要素在工业互联网进行沟通交流，打通了真实世界和数字世界的沟通壁垒，实现数据无缝流动和交互。经过四年多的努力，我国标识解析体系已基本建设，标识在交通制造、能源行业、重金属加工制造、物流仓储运输等 38 个行业领域已展开应用，有力推动了我国经济的数字化转型、智能化升级和高质量发展。本文主要对全球工业互联网标识解析体系兼容的六大标识编码体系进行介绍，为相关从业人员提供参考，促进工业互联网标识的推广应用。

当前，随着新一轮科技革命和数字经济深入发展，产业数字化和

数字产业化正在全球范围内双向加速。工业互联网正在成为经济社会发展新动能。针对多种标识体系长期共存的客观情况，我国工业互联网实践的过程中创造性地构建了以国家顶级节点为核心的工业互联网标识解析体系，借助国家顶级节点的解析枢纽地位实现工业互联网多标识兼容和互联互通。未来，需要政产学研用各方群策群力，构建更加完善的工业互联网标识产业生态，推动新一代信息技术与实体经济深度融合，帮助企业打通信息壁垒、优化生产流程、提升管理水平、强化协同创新、促进产业智能化转型升级和经济高质量发展。

(三) 边缘层

边缘层对工业数据进行全方位的采集，并对不同来源的工业数据进行协议解析和边缘处理。边缘层兼容各种协议，例如工业以太网、OPC UA 等通信协议和 5G、等无线协议，兼容层通过这些协议连接设备，并且利用设备对工业数据进行采集。此外边缘层可以利用协议解析技术以及中间件等技术兼容各类通信协议和端口，对采集得到的数据进行格式转换和统一。通过计算设备和其它管理工具，并且利用边缘计算技术，边缘层可以在工业数据产生的源头设备最近处进行数据处理，将数据有繁杂冗余清洗为简单高效，有效的提升了数据的空间利用效率，加快了整个系统的运行速度和数据的传递效率。边缘层对采集的数据进行处理后，会将其进行云端传输。

1. 设备接入

随着工业互联网技术的不断发展和普及，越来越多的企业开始将传统的工业设备接入到互联网上，实现设备之间的数据共享、远程监

控和智能化运维。工业互联网设备接入已经成为数字化转型的重要一环，拥有无限潜力和广阔前景。工业互联网是如何取得广泛的工业数据并且进行处理的呢，首先工业互联网需要有智能终端设备传感器等采集信息，生成数据，然后设备需要通过各种通信技术例如 NB-IoT 协议、3G、4G、5G 技术还有有线通信中的工业以太网和工业总线进行设备传输，这就涉及到设备接入的问题，由于现有的工业设备采取了多种多样的通信协议和系统，这就是说我们要通过异构的网络来进行数据传入，并且接入设备。

工业互联网设备接入是将传统的工业设备接入到互联网上，实现设备之间的数据共享、远程监控和智能化运维，为企业提供更高效、更安全、更可靠的生产服务。其主要包括网络通信技术、物联网技术、传感器技术等多种技术和方法。通过在现有设备上安装各类传感器，采集设备产生的数据，并将其上传到云端进行处理和存储，最终实现对设备状态的实时监测和预测分析。

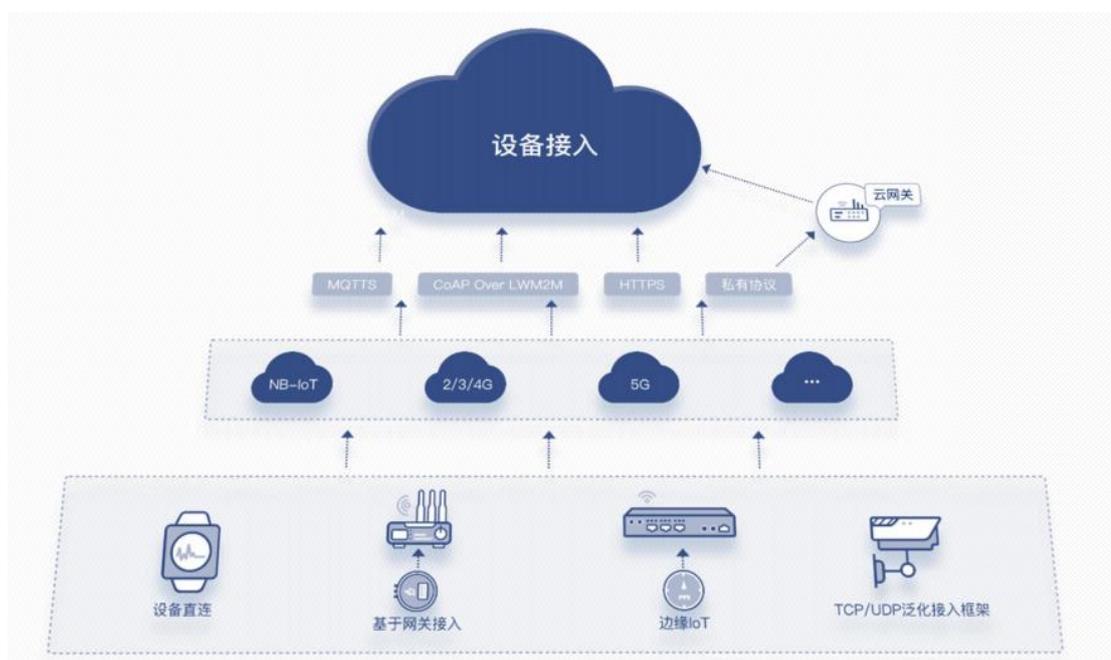


图 11 设备接入示意图

然而，工业互联网设备接入面临着很多挑战和难点，例如设备异构性、数据安全性、网络稳定性、技术壁垒以及前后端集成等。

数据难以接入工业互联网并且接入成本高长期制约着互联网平台的应用和发展，本文中提到设备在通过传感器生成数据后要将其经过网络传输到平台，由平台对数据进行进一步计算处理。但是在实际工业环境中，不同型号或年代的工业设备采用的网络传输方式不同，导致了设备与平台必须通过繁杂通信协议才能进行通信，对于平台提出了很高的要求。

工业设备接入互联网后，其面临的安全威胁更加复杂和严重。在进入了万物互联的时代，设备接入到网络当中则会产生很大实际影响，黑客可能通过网络攻击控制实际的工业设备，对生产线进行破坏，从而影响到企业生产甚至是群众的日常生活，可能会使社会运行陷入停摆当中。

网络稳定性也会对生产设备造成影响，工业设备要求高可靠性和实时性，而互联网本身的不可靠性和延迟问题可能会对接入网络的设备造成生产影响，导致出现生产秩序混乱和设备失控的问题。

对设备进行网络接入改造也是一大问题，在工业领域，许多企业早期采用的设备并未考虑网络互连，不具备直接接入互联网的能力。因此，将这些设备改造成具备互联网接入能力的智能设备需要投入大

量的资源和技术。

设备接入需要将前后端集成，将工业设备接入互联网是一个涉及前端硬件和后端软件的复杂系统工程，需要对整个系统进行深入理解和开发，从物联网芯片、传感器、网络通信技术、云计算等各个环节进行深入集成，才能实现稳定可靠的工业设备运行状态监控与远程管理。

这些难题需要工业互联网从业者具备扎实的技术能力和丰富的经验，不断推进技术创新和实践探索，为企业提供更全面、更专业的支持和服务。

此外，我们可以对接入网络的设备进行分类可以归纳为以下几类：

1. 数据采集模块也就是传感器。2. 一些嵌入式系统如 RTU/PLC/DCS/IPC 等。3. 是一些专用于生产或者其它用途的智能设备如机器人、数控机床等。4. 标识读取设备（RFID）这种设备主要用于读取条形码的信息进行物品登记。

这些设备是基于网络通信协议如工业以太网、工业总线、3G、4G、5G、NB-IOT 等接入边缘层，设备联网的方式可以分为两种：第一种方式是设备直连网络，设备直接连入网络需要满足设备本身具有可以联网的功能或者可以通过在设备本身改装增加 2G、3G、4G、NB-IOT 的通讯模块使其可以直接加入网络，具备通讯功能。第二种方式是设备先连接网关再经过网关连接互联网。此种方式主要适用于本身设备没有连接网路的功能并且改造升级成本较大，这种方式主要通过先进行本地组网，再通过本地组网的网关连入网络。例如，设备

可以采用 Zigbee/LORA 等协议进行组建本地无线网络，然后终端设备再通过本地的网关统一连入网络中。一些本地的无线组网技术有 sub-1GHZ\MeoH\Ble\lora\Zigbee 等

2. 协议解析

连接与边缘计算平台集成的工业通信协议，光纤、以太网等通信协议及 2G/3G/4G/5G 等无线通信协议能够实现多种工业现场设备的接入，数据格式的转换与统一，是工业大数据的入口，也是工业互联网平台的咽喉。但工业现场不同时期，不同品牌，不同用途的设备有不同的数据通信协议。业内没有统一标准，协议数量累计可达几百种，主流的协议也有 40 余种，为设备间互联及平台的接入带来很大的困难。因此平台支持的协议种类决定了其接入能力。平台应具备对多种异构协议进行解析的能力，这样才能够保证设备采集的数据能够格式一致的传输到平台中。目前来看，设备提供商，制造企业及自动化企业在该领域有较多积累，具备较大的竞争优势

既然工业通信网络存在诸如接口多样不统一、协议种类多样繁杂，互相不兼容的问题，那么各种不同协议网络就需要通过工业网关进行协议转换。工业网关的组成部分主要有串口转以太网设备、多种工业现场总线协议转换以太网（TCP/IP）协议设备和多种现场总线之间进行协议转换的设备等。

不同协议需要网关来进行中继，那么先来简单介绍一下网关并且对其功能进行简要的说明。网关又可以称为网间连接器、协议转换器。网关工作在网络层高层，是网络设备当中最复杂的互联设备，主要用

于在两个不同的网络协议当中进行互连。网关可以在广域网中进行工作，也可以在局域网中进行工作，其主要内容都是进行网络连接。此外，网关是一个非常重要的转换设备。通常网关工作在不同的语言、数据格式和通信协议之间，甚至网关可以在两个体系结构完全不同的系统之间进行工作，总结来说网关是一个翻译器。网关要处理受到的信息并且对格式进行重新更改打包，来满足系统的需求。

网关主要功能，网关的主要有隔离网络、对数据进行传入和转换适配协议等功能，此外在工业互联网平台还有非常重要的功能就是边缘计算，这个功能将在下一小节主要讲述。

在当前情况下，在工业的数据采集方面，存在多种协议标准，导致工业通信协议标准复杂多样、协议之间互相不能兼容，在数据互联、数据格式转换和协议解析方面造成了很大困难。在面对不同的协议通信时，我们需要采取协议转换技术，这项技术是指将不同的通信协议，依靠一些技术手段如地址空间重映射、数据转换和协议解析转换成的统一的格式，实现设备采集的数据信息进行传递和系统之间进行互联互通，达成访问的统一性。



来源：中国信息通信研究院整理

图 12 多种接口设备

其中的关键技术就是 OPC UA 技术，OPC 架构技术独立于制造商和平台由 OPC 基金会强力推动的统一架构，为生产车间和工业企业提供数据信息传递的操作标准。这项技术可以使用一个统一接口来进行许多工业协议数据的交换。OPC UA 使用了语义面向服务(SOA)架构和 WebService。这种技术的统一架构，不仅可以完成底层的数据采集和设备之间进行互相操作，还可以把设备之间进行横向继承，另外还能实现设备到 MES、SCADA 等进行垂直信息集合。促进了工业互联网统一互联。这项技术的优点是高开放性和稳定性。

在边缘层技术上，国外的工业通信协议技术比较先进和完备，国外的工业设备普遍具有联网功能，因此设备采集到的工业数据种类丰富，其边缘层的数据收集能力和协议的解析能力比较强大，但是国内的设备普遍联网率较低，并且设备的数据接口存在很多不兼容的问题，工业设备的采集工业数据的能力欠缺，需提高边缘层设备接入能力和数据协议解析水平。

3. 边缘计算

边缘计算主要是一种新型的计算模式，这种计算方式应用在工业联网上，主要表现为使用了边缘分析算法、实时操作系统、高性能计算等技术，将数据处理和存储功能放在临近数据源头设备的位置，即设备或者传感器所在的边缘位置。在这个位置上进行智能分析应用、存储以及数据预处理等功能。边缘计算提升了操作反应的素的，大大减轻了数据传输过程中的网络堵塞程度，并且边缘计算与云端服务器对数据的处理分析互相配合。

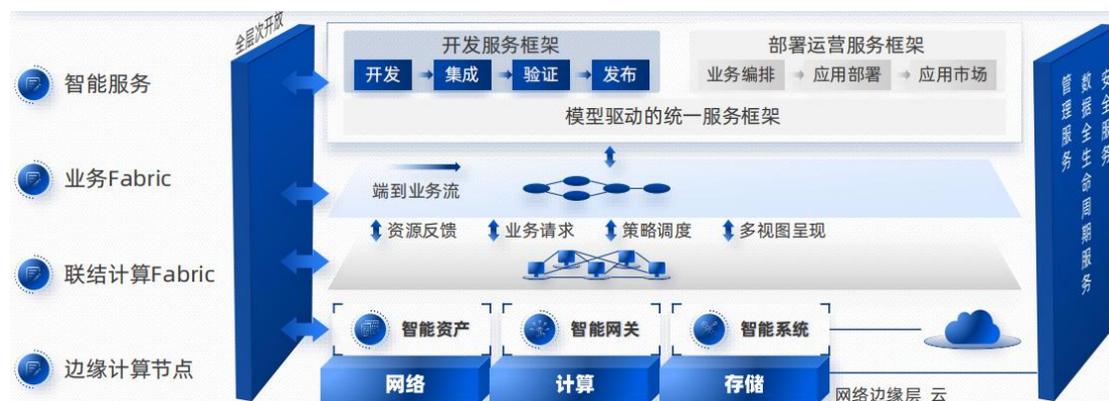
边缘计算方式可以实现对海量异构数据的处理，并且提升了实时性，满足了对于工业实时性的高要求，并且对数据进行及时的处理，优化了数据，加强了智能应用的基础加强了应用处理数据的能力，此外边缘计算通过在源头计算数据保护了用户信息的安全和隐私。

边缘计算的应用场景有本地决策、短周期数据等应用场景。总体来说，边缘计算是一种可以满足海量、异构的联接方法，并且对数据进行了优化处理，提升了边缘层应用的智能化效果，避免了数据大规模传输可能造成的数据泄露。因此边缘计算在很多场景例如短周期的数据处理，实时性计算处理，需要进行本地决策的应用场景。

以下是边缘计算的的应用的重要技术，智能边缘计算节点，联接计算结构，智能编排业务结构，智能服务，智能边缘节点可以兼容多种异构的连接协议，并且可以支持对信息进行实时的处理响应，给信息提供一体化的防护措施。边缘节点位于中间位置，平衡了用户端和云处理中心端的资源分配问题。边缘节点与云处理中心相比，更加小型并且分布另外可以贴近用户。联接计算结构可以实现架构的简单化，并且可以对业务实现屏蔽复杂的边缘架构。此外联接计算结构可以实现自动可视的对 OICT 基础设施进行部署，可以实现边缘计算功能与行业的实际需求进行协同。智能业务编排系统可以安排制定端到端的业务流信息，是业务安排更灵活。智能服务可以实现统一的服务框架，促进开发接口一致和运营自动化。

边缘计算的主要功能有以下几点，数据采集：边缘计算可以通过连接传感器、仪表、设备等终端设备，实现对现场数据的采集和管理。

边缘计算可以将大量的实时数据进行处理和分析，从而更快地发现问题和改进生产过程。实时分析：边缘计算可以通过运行本地算法和模型来实时分析数据，识别异常情况并立即做出反应。例如，当温度和湿度等参数超出预定值时，边缘计算可以自动触发警报并通知相关工作人员以及其他设备。本地决策：边缘计算可以根据实时数据的状态和趋势，对当前的生产过程进行实时调整和优化。例如，在生产流水线上，如果某个设备出现故障，边缘计算可以自动通知操作员并重新规划生产计划，从而避免了更大的损失。数据存储：边缘计算可以在本地存储一些关键数据，以便进行后续的分析 and 处理。这种方式可以降低数据传输的延迟和带宽需求，提高系统的性能和可靠性。



来源：中国信息通信研究院整理

图 13 边缘计算结构示意图

(四) 平台层

在工业互联网平台的构建过程当中，平台层是其核心部件，其核心技术是云计算技术，平台层既能收纳存储产生的数据，还可以提供计算能力超强的计算环境，实现在云端对工业产生的数据进行处理和控制。其实它的本质是在 IaaS 平台上进行了扩展构建的一个支持系

统，工业环境的应用和相关软件开发平台可以借助平台层进行发展。

1. 工业 PaaS

工业互联网的核心是工业 PaaS，边缘解决方案提供商、各类微服务组件提供商、平台运营主体一起创建维护了工业 PaaS，其为用户提供了接入管理各种开放资源、对工业大数据进行管理、常用 IT 服务库、常用工业微服务库、微服务发布工具、环境调用工具、应用全生命周期的服务环境和工具等功能。PaaS 通过使用开源的开发环境工具，资源接入管理的高效率，强大的大数据处理能力以及组件化的微服务体系，接通了巨大的社会开放资源，并且在对于上层的工业 APP 开发部署与运行进行了优化升级。在整个体系当中工业 PaaS 相当于“操作系统”。

PaaS 进行资源调度使用了平台使能技术，基于这项技术实现了资源的合理开发和部署。通过评估业务对于资源的需求量，可以动态的调配平台资源，来满足平台的一些功能如工业故障的修复管理、系统的日常运维管理、工业资产的管理、设备进行连接管理，来保障业务进行正常开展。PaaS 的工业大数据系统的数据处理能力非常强大，其可以进行工业数据的可视化。预处理、计算和存储等。有了大量的工业数据，PaaS 可以构建数据模型，通过依靠一些工业原理和技术构建模型，并且再融合最新的深度学习等机器学习方法进行模型的学习和研究，这样可以尽可能的挖掘出来工业数据的价值。此外 PaaS 还可以对一些操作技术、理论知识和生产技术进行利用，把这些技术进行数字化总结和记录，就可以组建工业产品全生命周期的配套功能

模块和组件库，这样可以直接使第三方开发者调用，基于这种工作模式就可以在根本上降低了工业 APP 的开发难度。并且通过 PaaS 层可以获得工业 APP 的部署框架、测试工具和各类的开发工具，使得开发和部署环境更加高效，可以实现快速开发。深度测试和规模化部署工业 APP。

可以粗略的将 PaaS 平台分为两个种类，一类是工业 PaaS 平台，另一类是通用 PaaS 平台。工业 PaaS 平台主要依靠各行各业提供的知识和经验构建数字化模型，并且形成工业微服务组件来给行业提供服务。其平台的特点是需要与工业知识相结合，平台领域的工业属性强，但是工业 PaaS 的通用能力较弱。通用 PaaS 平台可以将软件开发工具和容器、集成微服务等框架进行整合，可以将 IT 资源进行分配。并且可以为用户提供应用调度和开发部署等管理任务。通用 PaaS 平台的通用性能比较强，但是在具体的工业领域进行应用的能力比较弱。



来源：中国信息通信研究院整理

图 14 PaaS 层功能

因此，工业 PaaS 平台中的工业数字化模型包含了基础工艺、行业知识、工业技术原理等要素，工业数字化模型是工业 PaaS 平台的

核心，并且 PaaS 平台内部的数字化模型很大程度上影响了该平台所支持的应用场景。这里面主要涉及到数字化模型的原因，数字化模型是对行业知识的学习产生的数字产品，所以数字化模型产生了知识壁垒，不同行业不同领域当中的不同的专业知识技能和技术产生了知识壁垒。但是，知识壁垒也存在于同一行业的不同领域，同理也存在于同一领域的不同行业。因此数字模型只是通过学习某一个特定行业领域的知识和经验构建而形成的话，那么它就只能被该企业和领域使用于对相关的工业应用和以及数字服务进行研发，基于这样的原因，工业 PaaS 平台的具有工业属性比较强，通用性比较差的特点。当前的情况是，工业 PaaS 的研发产商和服务厂商所构建的 PaaS 主要是根据其厂商的研究方向的行业和领域的知识和经验研制构建的平台，因此这种数字化模型无力支持不同行业领域进行交叉融合的应用和服务平台的开发。所以，目前会出现需要统一处理的工业数据会分散在几个不同领域的平台上，这样分割、断裂式的数据，限制了这些数据的发展价值。

所以数字化模型主要影响着工业数据的分析程度，PaaS 平台的核心是数字化模型。在当前情况下，我国的工业 PaaS 平台仍需要加强开进自身的数字化模型，使自己的数字化模型不断丰富发展，我国的数字化模型应当尽快涵盖国内的各行各业的工业知识，其中包括 39 个工业大类，191 个中类，525 个小类的工业知识，这些工业数字化模型可以为第三方开发者进行软件开发赋能，助力其研发海量工业 APP，帮助企业能够真正解决痛点问题，助力工业产业的高质量发展，

将其发挥最大价值。正如前文所讲述的问题，单一的工业 PaaS 平台根本无法做到对工业知识能力的全覆盖，面临着数据在小平台的散落很难发挥数据的整体价值问题，我们需要发展数据整合平台，这种平台的特点是平台规模大、资源整合能力比较强，因此这种平台可能发展为在跨行业跨领域各行业交叉融合的领先数字平台，并且与行业细分领域的平台形成搭配共同发展。工业 PaaS 平台在想相关领域进行拓展时，要结合相关行业和领域的特点以及知识壁垒，首先应当利用好自身行业的优势，进行本行业的深入发展再向相关行业领域进行横向发展。

总体来看，PaaS 能为工业数字化用户提供很大的平台优势，以数据库、算法分析等技术提供应用微服务的开发、工业数据存储、工业数据的进一步处理与计算等服务。并且可以通过扩展附加等方式为工业开发应用部署提供基础的环境，从而建设成工业操作系统，其具有移植复用良好、根据行业定制、完整程度高的特点。PaaS 可以根据具体的项目业务开展资源调度，此外 PaaS 平台可以提供完善的安全保障性能，为接口访问。平台运营、数据接入安全提供强有力的保障。

(五) 应用层

1. 工业 SaaS

工业互联网平台的对外提供服务的关口是 SaaS 层，这一层次至关重要，因为 SaaS 是可以直接赋予工业数据实际价值。通过该层，可以根据不同行业领域的用户的需求，综合考量定制个性化的服务，

全面以用户需求为核心服务对象。**SaaS** 平台拥有应用开发环境、组件库和微服务功能模块等技术，通过第三方进行开发，平台就可以给用户提供服务延伸 **APP**、网络协作 **APP**、数字化生产 **APP** 和根据具体要求的定制化 **APP**，有力促进了工业知识的价值提升和创新发展。

在此前的工业软件行业，大部分都是以本地部署的形式进行，因此只能提供单一行业的服务。随着工业产业的升级和工业不同领域的交叉融合，现场海量工业数据的产生，传统的只能在本地进行部署的软件在技术和功能等方面已经不能满足快速变化的企业需求，工业企业对工业软件提出了新要求，如成本低，部署周期短，方面扩展，联通便捷。

SaaS 的工业软件有其得天独厚的优势，传统工业软件的功能复杂冗余，很多企业不能充分利用，导致企业浪费了资金。**SaaS** 的工业软件是每个功能模块分开销售，因为其在开发时就是分别开发，可以做到不同部分的自由组合，企业可以根据自己的实际需要进行选购所需服务，避免了资金浪费。因为 **SaaS** 软件是云端部署，所以其版本更新升级非常方便，有利于企业的生产技术更新升级，提高生产效率。将核心业务和传统服务方式向云端转移是数字化的内容之一，可以说企业数字化的成果很大程度体现于工业 **SaaS** 的实现进展。



来源：中国信息通信研究院

图 15 SaaS 多种应用场景

1. 资本集体转投硬科技

“硬科技”是指具有较高技术门槛和明确应用场景，代表世界科技前沿和引领科技产业变革的关键核心技术，对经济社会发展能起到重大支撑作用，互联网、新能源、新材料、高端装备等重点领域是发展“硬科技”的主力军。2018年11月首届进博会上，习近平主席宣布了设立科创板的决定。科创板独立于主板，试点注册制改革，专注于支持战略性新兴产业和高新技术产业发展，推动大数据、云计算、物联网等新一代信息技术与制造业的深度交融，提升资本市场和科技创新的深度融合，为我国高新技术企业的发展提速，为科技创新保驾护航。

自科创板设立和创业板注册制改革后，“硬科技”企业越来越成为资本市场追捧的对象。在国内股市整体上看，A股市场的“硬科技”相关板块持续扩张，十年来新增上市公司已经过千，总市值占比持续提升，以新能源为代表的电力设备行业总市值更是超过银行业，里程

碑式地登顶榜首。截至 2022 年 9 月，一级行业的市值榜前五名为电力设备、银行、医药生物、食品饮料、电子，其中电力设备、医药生物、电子都是典型的“硬科技”行业；千亿级公司属于科技行业的有 30 家，包括新能源产业代表宁德时代，电子信息产业代表海康威视，医药生物板块代表迈瑞医疗、药明康德等，“硬科技”企业在资本市场欣欣向荣。过去三年里，科创板一批科技企业借助资本市场快速发展，资本与科技通过科创板实现了完美的联接。截至 2022 年 11 月 17 日，科创板已经迎来了 486 家科创上市公司，总市值达到 6.24 万亿元，日成交额在 620.15 亿元。



来源：中国信息通信研究院整理

图 16 工业数字化细分领域

2. 投资细分领域分析

资本市场对科技属性的喜爱有目共睹，对于广大的传统行业，通过工业数字化的形式提升自身数字化水平，不仅能够降本增效，也能提高在资本市场的竞争力。面对传统行业数字化转型需求庞大而缺乏

相应技术能力的情况，市场上已经产生了许多成熟的提供工业数字化相关技术服务的企业，事实上这类企业的数量已经颇具规模。工业数字化涉及的投资细分领域十分广泛，包括研发设计、流程生产、项目管理、产品营销、增值服务、办公服务不同方向，从前端到业务端都能涉及。一些提供工业数字化服务的企业比较全面综合，比如阿里巴巴、聪慧集团、网库集团、国联股份等；一些企业更专注于提供垂类服务，比如京东工业品、上海钢联、中农网、汇通达、百布等；此外服务商类企业也数量众多，包括甄云科技、支出宝、励销云、企企通等。

01月	“易买工品”完成数千万美元C轮融资	
02月	云畅科技完成数千万人民币A轮融资	汇通达正式在香港挂牌上市
03月	舟谱数据完成1.5亿元B+轮融资	“复安特”完成数亿元人民币B轮融资
04月	“工品一号”完成B+轮融资约1.6亿元人民币	
06月	“换林哲”完成近亿元A轮融资	“甄一科技”完成7000万元A轮融资
07月	“卫恒科技”近日宣布完成亿元A轮融资	“凌道科技”近日宣布完成近1亿美元PreB+轮融资
08月	“包小盒”完成近千万美元A轮融资，估值已超1亿美元	“锐翎商城”完成1.5亿美元融资
11月	“百炼智能”宣布完成超亿元Pre-B轮融资	
12月	“企企通”一年内再获Pre-D轮融资	“大乐装”完成亿级人民币B轮融资

来源：中国信息通信研究院整理

图 17 2022 年工业数字化领域重点投融资事件

三、新技术：从跟随到超越

(一) 工业软件

1. 通用类：MES/ERP

(1) ERP

ERP，企业资源计划（ERP，又译企业资源规划）是高德纳咨询公司创造出的一种基于企业发展的管理模式。起初，它仅指一种应用软件，但后来被世界各地的商业企业广泛采纳。

企业资源计划系统(ERP)是一个基于信息技术的系统化管理平台，它包含了多个功能模块，是一个为企业决策者和员工提供决策执行的管理平台。具体来说，企业资源计划系统的功能有以下几种：

1) 生产管理：通过对生产计划、工单、工艺路线、物料清单、车间作业等进行控制和优化。

2) 财务管理：通过对会计科目、凭证、账簿、报表等进行统一和标准化，达到财务的准确和数据更新的及时，为分析和决策赋能。

3) 成本管理：通过对产品成本、订单成本、项目成本等进行核算和分析，实现成本控制和优化，提高利润率和竞争力。

4) 供应链管理：通过对采购订单、供应商信息、库存水平、物流配送等进行协调和监控，实现供应链的透明化和协同化，提高供应链的响应速度和灵活性。

5) 项目资源管理：通过对项目信息、任务分配、进度跟踪、风险控制等进行规划和执行，实现项目资源的有效利用和项目目标的顺利完成。



来源：中国信息通信研究院整理

图 18 智能制造各层级结构示意图

(2) MES

MES 工业软件是一种针对生产过程的管理和优化系统，它可以实现多个功能，如生产计划、项目管理等，以提升生产效率、质量和利润率，同时支持财务分析和决策。MES 工业软件是智能制造和工业互联网的核心和灵魂，也是企业数字化转型的重要手段。MES 工业软件有多种品牌和类型，不同的行业和企业有不同的需求和选择，MES 工业软件也需要不断地更新和优化，以适应市场的变化和竞争。

它可以实现以下九个方面的功能：

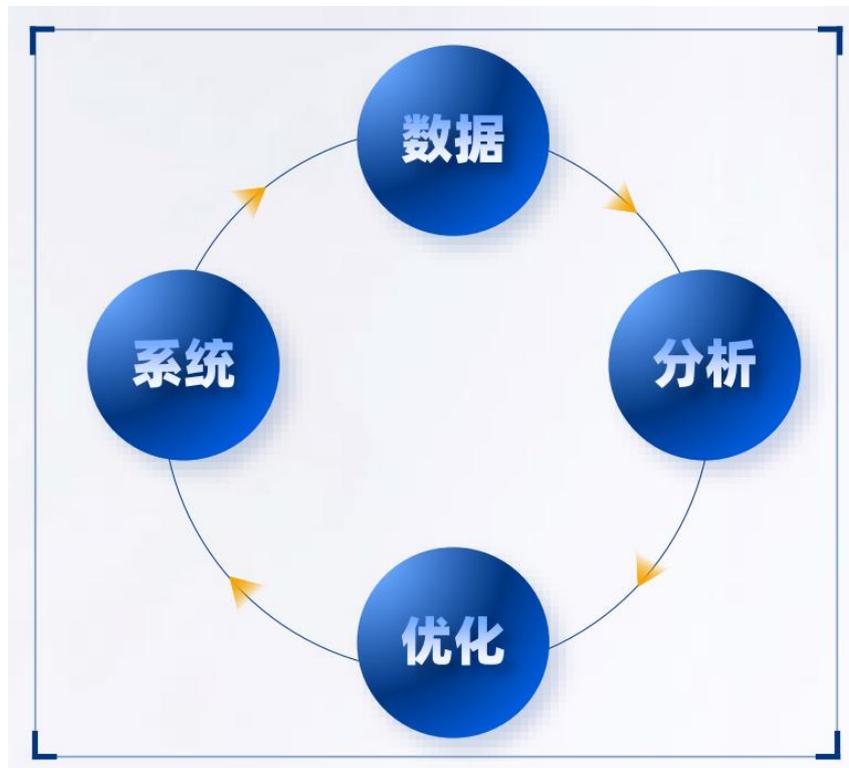
- 1) 资源管理：通过对资料的信息分析，提供资源的使用情况和状态信息。
- 2) 管理车间内的库存物资，设置库存告警，实现物料的出入库操作。

3) 利用计划分类程序和议程设置进行能力平衡和计划调整，实时控制生产进度。

4) 追踪和监控生产过程中的物流，保证物料的快速高效流转。

5) 追溯和控制工序检验和产品质量，对不合格品进行整改，为质量改进提供指标，对出厂产品进行维护。

6) 监控生产计划进度和设备运转情况，管理车间报警信息，及时发现和处理问题，实现设备联网和数据采集。



来源：中国信息通信研究院整理

图 19 MES 功能流程图

2. 垂直行业类：EDA

EDA（Electronic design automation）意为电子设计自动化，是一种基于计算机辅助软件的设计方法。

当今来数字电路的设计已经趋于模块化，具体来讲，制造商会提

供符合标准仿真工具的仿真模型给生产流程。但仿真 EDA 工具相对不太模块化，因为它涉及更多的功能，部件之间需要更多的交互，而部件通常较不完美。

随着半导体产业规模不断扩大，在电子行业中，EDA 越来越重要。EDA 的主要用户是生产半导体组件的代工厂商，还有用 EDA 仿真软件来判断生产状况的服务商。目前，EDA 产业在国际市场上发展前景大，属于蓝海市场，但其年增长率表明其发展潜力尚未完全释放。

3. 流程管理类：PLM、SRP

(1) PLM

PLM，从一个产品诞生到消亡，涵盖了它所有生命周期阶段的、开放式、可互操作性强的应用解决方案就是产品生命周期管理（Product Lifecycle Management, 简称 PLM）。

为了让产品尽快上市，击败竞争对手，最大化投资回报率，并且能够快速地将产品知识从市场研究员到产品经理到产品设计员到技术支持等传递。知识传递的速度和准确性直接影响了产品上市和项目总成本两个方面。

如果落后于别人，就会错过市场份额和收入的机会；如果产品设计过程不精确化，就会造成大量时间的浪费和沉没成本的不可挽回。因此，对于所有成熟的产品来说，首要的就是找好产品定位，明确产品定义。但如果缺乏较为严谨的技术来协同部门运作，不同部门对产品的设计过程就会因为协同性差异而混乱，为了解决这些问题，软件

业者开发了一套协同管理产品生命全周期的数据库——PLM。

PLM 通常具有以下功能：

- 1) 安全地控制产品料号和文件的发布。
- 2) 清楚地知道哪些项目受到发布时间延迟和变更的影响。
- 3) 通过精细的流程设计，实现变更管理的自动化和高效率。
- 4) 提供一个环境来管理制造商和产品信息。
- 5) 使当前的产品记录与生产制造系统保持同步。
- 6) 为新产品的开发计划提供支持。
- 7) 帮助公司确定何时需要对产品进行重新设计、改进或召回。



来源：典道产品全生命周期（PLM）咨询报告

图 20 PLM 产品生命周期管理示意图

（2）SRP

SRP 是针对物联网不同行业的定制化解决方案（Solution Ready Package），物联网经历了几年的快速成长，从一个前沿的概念变成了一个涵盖多个层次和领域的产业生态：在水平方向上，有数据处理、

云端上传、应用服务等关键环节；在垂直方向上，针对不同的应用场景和需求，将水平方向上的环节串联起来，形成各个领域专业化的物联网服务集成解决方案。

物联网产业发展可以分为三个阶段，第一个阶段是以数据采集和数据传输为核心，主要是嵌入式设备等硬件。

第二个则为基于应用服务开发技术的云端平台发展阶段，作为云服务开发的底层逻辑和环境基础，云端平台是物联网应用能继续发展的关键，将产生出巨大的市场价值。

物联网第三个阶段则是以垂直领域应用为主要特征的物联网云服务阶段，服务定位直接面向客户，未来前景较为明朗。在各个领域，物联网服务扩张迅速，但其成功关键因素在于平台供应商的技术支持，与相关领域技术公司的深度合作，可建立起模式化规模化的软硬件整合措施 SRP，即共创 SRP。

4. 计算机辅助类：CAD/CAE/CAM

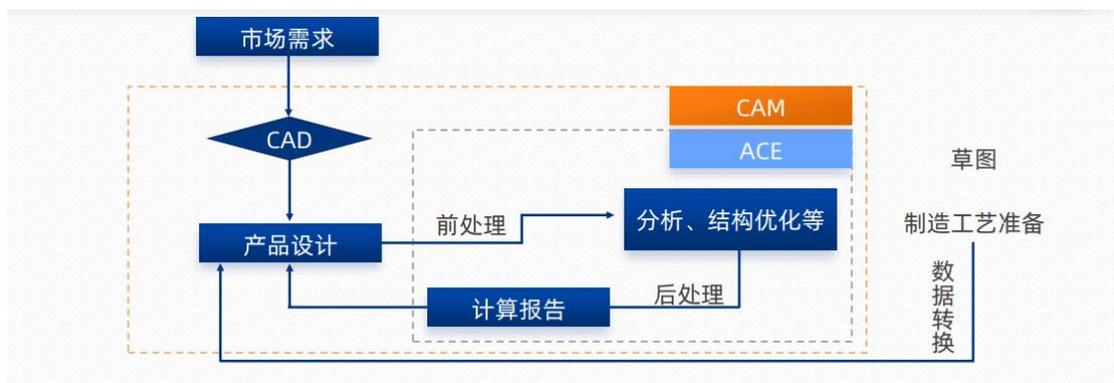
(1) CAD

计算机辅助设计（英语：Computer Aided Design, CAD）是一种利用电脑软件来模拟和展示新产品特征的技术。随着技术的发展，CAD 不仅应用于工业领域，还大量运用于平面设计、印刷出版等多个方向。

计算机辅助设计可以模拟各种建筑和工程项目，包括建筑设计、建筑制图，机械制图，电路图等，这些如今都是 CAD 应用的服务范围。

计算机辅助设计一开始主要服务于汽车制造、电子航天等重工业产业。但随着终端的普及与算力的进步，CAD 的应用范围也逐渐扩大。

计算机辅助设计经历了多年的发展。最初，它主要用于生成类似于手绘图纸的图纸。后来，随着计算机技术的提高，它在设计方法上有了更多的技巧性。现在，计算机辅助设计不仅用于绘图和显示，还能够实现设计者专业知识中更“智能”的部分。



来源：华经产业研究院

图 21 计算机辅助软件使用流程

(2) CAE

电脑辅助工程（Computer Aided Engineering, CAE）是一种运用电脑软件来分析、验证和优化设计的技术。它可以对复杂的工程和产品的结构强度等力学性能进行模拟计算。随着电脑和 3D CAD 技术的快速发展，CAE 技术的应用范围越来越广，使用门槛也越来越低。掌握 CAE 技术需具备一定的物理相关知识，以顺利完成条件的设定和最后解释结果。但在数学方面，计算过程中应用到的数学分析方法，如微分方程、有限体积法和无网格法等，都可以由电脑自动处理。

电脑辅助工程在信息化和网络化的新世纪将有更大的发展空间。随着计算机算力的不断增强、CAE 软件的不断迭代和网络技术的持续进步，电脑辅助工程将实现信息集成和生命周期管理，把工程（生产）的各个环节有机地组织起来。许多大型软件公司已经利用互联网为用户提供技术支持，帮助用户解决分析过程中遇到的问题。未来，通过网络信息传递，用户可能得到更全面的专家技术支持，从而提高 CAE 技术的推广应用。

（3）CAM

CAM（computer Aided Manufacturing，计算机辅助制造）是指用计算设备来对生产进行管控、操作和运用的过程。它输入的是产品的工艺路线和工序内容，输出结果则为刀位文件和数控程序。

计算机辅助制造依赖于多方面综合系统，该系统利用计算机分级结构来控制、设计和管理产品制造全过程，其最终目的是建立一个信息网络集成模块，来监测和控制相互关联的制造程序流程，并在综体管理策略的指导下优化设计。

计算机辅助制造系统由硬件和软件两方面组成：硬件方面有数控机床、加工中心模块、输送设备、装卸设备、存储地点、计算机等，软件方面有计算机辅助数控程序编制，质量控制系统等。

5. 生产信息化管理类：MES/APS/WMS

（1）MES

MES 是一种管理车间生产的系统，它可以实时地观察、调节和改善生产活动，提升生产效率、质量和可追溯性，实现与上层计划管

理系统和下层工业控制系统的集成。**MES** 的主要功能包括资源管理、综合工序与单一单元管理、产品设计生产过程全跟踪、性能与设备状态检测、文档管理、设备维护管理、质量管理和数据采集。

MES 的优势在于它可以填补企业信息化架构的缺口，消除无效活动，提供及时准确的数据，支持迅速决策和持续改进，提高客户满意度和竞争力。

(2) APS

APS 是一种管理生产排程和生产调度的系统，即高级计划与排程 (**Advanced Planning and Scheduling**)，它可以根据各种资源和约束，找出最佳的生产计划和排程，实现及时适应需求变化，提升资源利用率，缩短交货时间，降低库存费用。**APS** 的主要功能包括需求管理、供应管理、容量管理、物料管理、订单管理、库存管理、采购管理、生产跟踪、性能分析等。**APS** 的优势在于它可以运用先进的算法和技术，对复杂的生产环境进行模拟和优化，支持多地多工厂的需求，提供强大的可视化和集成能力。

(3) WMS

WMS 是仓库管理系统的简称，它是一种利用计算机技术和现代管理方法，对仓库内的物料进行有效管理和控制的软件系统。**WMS** 可以实现仓库内物料的实时监控、动态调度、智能优化等功能，从而提高仓库的运营效率和服务水平，降低仓库的运营成本和风险。

WMS 的主要作用有以下几点：

1)提高仓库内物料的可见性和可追溯性，实现物料的全程跟踪和

管理，避免物料的丢失、损坏、过期等问题。

2)提高仓库内物料的存储效率和空间利用率，实现物料的合理分布和存放，避免物料的堆积、混乱、浪费等问题。

3)提高仓库内物料的流动效率和作业效率，实现物料的快速入库、出库、移库、补货、盘点等操作，避免物料的滞留、延误、错误等问题。

4)提高仓库内物料的质量和安全性，实现物料的有效质检、保管、防护等措施，避免物料的质量下降、变质、损毁等问题。

5)提高仓库内物料的信息化和智能化水平，实现物料的自动识别、分类、排序、分配等功能，避免人为的疏忽、失误、干扰等问题。

WMS 是仓库管理的核心系统，它可以与其他系统如 ERP（企业资源计划）、TMS（运输管理系统）、MES（制造执行系统）等进行集成和协同，构建一个完整的供应链管理体系，实现供应链上下游各环节的信息共享和协调，提升供应链的整体效能和竞争力。

6. 系统整合助力数字化制造

系统整合是指将不同的软硬件、数据、服务等资源进行有效的组合和协调，以实现某一目标或功能的过程。系统整合可以提高系统的效率、可靠性、安全性和灵活性，降低系统的复杂度和成本。系统整合在工业数字化制造中发挥着重要的作用，可以帮助企业实现从产品设计、生产计划、物流管理、质量控制等各个环节的数据化、智能化和协同化，提升企业的竞争力和创新能力。在实际生产制造过程管理中，工业制造通过 MES 制造系统结合 APS 高级排产、QMS 质量管

理、WMS 智能仓库等生产辅助系统，针对生产工艺流程、设备加工方式、生产人员进行灵活配置，实现了生产过程的全面数字化管控、全流程追溯，帮助制造企业提高生产效率、降低生产管理成本、提升产品的品质。

(二) 工业 App

1. 研发 APP

利用电子计算机及其外围设备开发设计类软件，帮助工程技术人员进行产品设计和制造，达到提高产品开发效率、降低开发成本、缩短开发周期、提高产品质量的目的，主要涉及计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工程(CAE)、电子设计自动化(EDA)、计算机辅助工艺规划(CAPP)、产品数据管理(PDM)/产品生命周期管理(PLM)、基于模型的系统工程(MBSE)以及六性(可靠性、维修性、保障性、测试性、安全性、环境适应性)等。

2. 生产 APP

生产制造类软件主要是负责工业产品生产和制造过程中进行数据采集、分析、决策和管理等，主要包括计算机辅助制造(CAM)、分布式控制系统(DCS)、可编程逻辑控制器(PLC)、制造执行系统(MES)、数据采集与监视控制系统(SCADA)等；

3. 管理 APP

经营管理件类软件主要有供应链管理(SCM)、企业资源计划(ERP)、客户关系管理(CRM)、人力资源管理(HRM)等，其

目的是提高工业企业的生产管理水平和产品质量和客户满意度，提升整个产品价值链的增加值。

4. 服务 APP

运行保障类软件主要用于工业品使用过程中的状态监测、故障诊断、健康管理、维护维修等，主要包括故障预测与健康监测（PHM）、交互式电子技术手册（IETM）、维护维修运行管理（MRO）等。

（三）人工智能

以深度学习为代表的人工智能技术正加速向千行百业应用渗透，健全、领先的 AI 工程化能力成为下一阶段产业竞争力的重要体现，它可以通过机器学习、计算机视觉、语音识别等方式，实现对数据的采集、分析、处理和应用。人工智能在工业产业发展中有着广泛的应用，主要体现在以下几个方面：

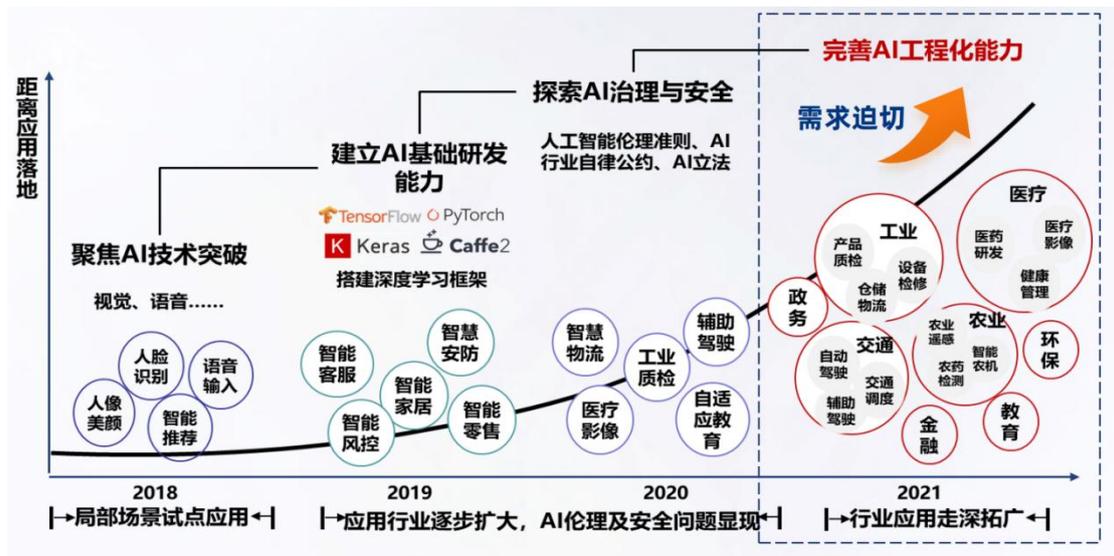
1) 助力工业制造，提高生产效率和质量。通过使用工业机器人、智能传感器、智能控制系统等设备，可以实现对生产过程的自动化、智能化和精准化管理，降低人力成本和资源消耗，提升产品性能和竞争力。

2) 助力工业创新，推动产业升级和转型。通过使用大数据、云计算、人工智能等技术，可以实现对市场需求、技术趋势、用户反馈等信息的快速收集和分析，为产品设计、技术研发、商业模式等提供智慧支持，促进新产品、新业态、新模式的不断涌现。

3) 助力工业服务，提高客户满意度和忠诚度。通过使用智能客服机器人、智能诊断系统、智能预测系统等技术，可以实现对客户的

个性化服务和精准营销,提高服务质量和效率,增强客户体验和信任。

4) 助力工业生态,构建数字产业集群。实现产业链的数字化转型,打造以智能制造、智慧农业、智慧物流等为代表的新产品、新业态、新模式。



来源: 中国信息通信研究院整理

图 22 AI 助力产业发展阶段图

技术生产工具不断完善为工业 AI 赋能,人工智能技术的发展需要依赖于强大的技术生产工具,包括芯片、传感器、云计算、大数据等基础设施和服务。这些技术生产工具可以为人工智能技术提供高效的计算能力、海量的数据资源、灵活的开发环境和丰富的应用场景,从而推动人工智能技术的创新和突破。

全能智能计算体系构建大规模并行计算平台。人工智能技术的核心是智能计算,智能计算技术可以实现对数据的高效处理和分析,从而提取出有价值的信息和知识,为产品设计、技术研发、商业模式等提供智慧支持。

人工智能平台搭建完善 AI 安全体系。人工智能平台是将人工智能技术与行业需求相结合的桥梁，它可以为各类行业提供定制化的人工智能解决方案，帮助企业实现数字化转型和智能化升级。人工智能平台可以降低企业使用人工智能技术的门槛和成本，提高企业创新的效率和质量。

(四) 工业机器人

1. 机械臂

工业机械臂是拟人手臂、手腕和手功能的机械电子装置。它可把任一物件或工具按空间位姿（位置和姿态）的时变要求进行移动，从而完成某一工业生产的作业要求。如夹持焊钳或焊枪，对汽车或摩托车车体进行了点焊或弧焊；搬运压铸或冲压成型的零件或构件；进行激光切割；喷涂；装配机械零部件等等。工业机械臂是在机械化和自动化生产中一种新型的机械设备，在自动化生产过程中使用一种具有抓取和移动的自动化设备，主要是能在生产过程中模拟人的动作来完成工作，像可代替人员进行搬运重大物件、进入高温、有毒、易爆炸和具有放射性等等环境中去工作，代替人完成危险、枯燥的工作，相对减轻人力劳动强度，提高劳动生产力。

2. AGV

AGV 是 Automated Guided Vehicle 的缩写，中文意思是自动导引运输车或无人搬运车。AGV 是一种无人驾驶的机器人，可以沿着地面上的标记线、电缆、磁条、激光或无线电波等方式进行导航，实现物料或工具的自动搬运。AGV 的优点是可以减少人力成本，提高运

输效率和安全性，适应多种工作环境和任务需求。AGV 的应用领域包括仓储物流，制造业，医疗卫生，零售业等²。AGV 的类型有很多，根据载重能力和功能不同，可以分为平衡式 AGV，支撑式 AGV，高位式 AGV，极窄巷道 AGV，牵引式 AGV，载荷式 AGV，紧凑型转移 AGV 等。AGV 主要特点：

1) 柔性规划

具有较强的灵活性，可以有序地完成工作流程，迅速整理调度，推进任务程序。

2) 提高效率

降低人力沉没成本，解放双手，实现生产效率最大化。

3) 安全可靠

构建了全面的安全保护体系，并且显著降低了错误几率。

(五) 数字孪生

1. 产品全生命周期管理

产品全生命周期管理一共有四个阶段。

第一为研发设计阶段，运用数字孪生技术可以在实践之前就模拟产品的研发设计，相当于数据分析中的零实验。从而达到准确性大幅度提高、设计效率显著上升的效果。

第二个阶段是市场营销阶段。在不必展出实物的情况下，销售人员可以运用数字孪生技术模拟出产品的实际效果与具体形式，从而缩短生产循环过程。

第三个阶段是生产制造阶段。将数字孪生贯彻到产品的生产全过程，通过模拟生产阶段的各生产要素、流水线的具体问题、产品的计划数量来精确控制产品生产。

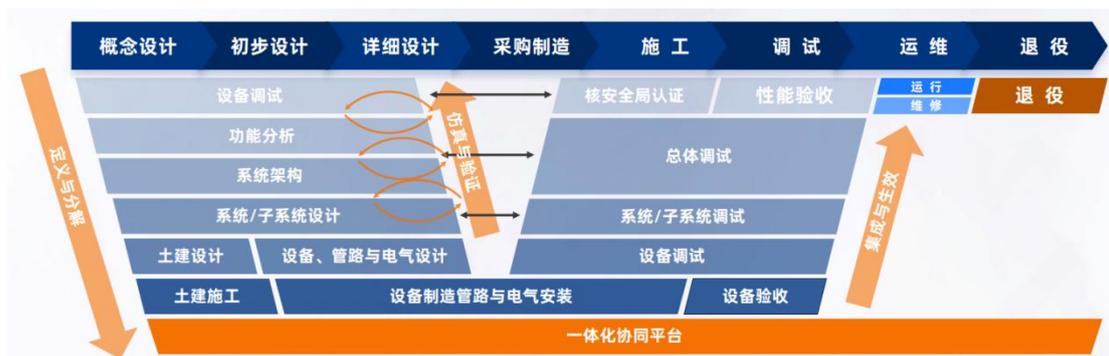
第四个阶段是运营支持阶段。运营支持阶段是指在产品的后续发展商运用数字孪生技术。通过实时监测与大数据支持完成对产品状态的全掌握，构建完善的售后和产品健康指标体系。

2. 工程全生命周期管理

工程全生命周期管理数字孪生 (Digital / Virtual Twins) 是以数字化形式对某一物理工程项目的过去和目前的行为或流程进行动态呈现。

数字孪生技术会建立基于模型的系统工程 (MBSE – Model Based System Engineering)，从概念设计阶段开始并持续贯穿于开发和后续生命周期阶段支持系统需求、设计、分析、验证和确认活动，用标准的数字模型语言代替自然语言，应用特定的方法论和工具去实现系统工程。目的在于前期仿真迭代、保障对需求的追溯性、规避风险、降低成本并提升效率。

数字孪生工程全生命周期重点在于动态呈现，犹如一对真正的双胞胎，从受精卵阶段同步开启细胞分裂、发育、出生、上学、工作、变老、直至去世，一生如影随形。其孪生过程的重要性远大于孪生结果，数字孪生的价值在于走在“他的实体兄弟”前面一步的仿真，用以预测未来并及早发现问题。实现数字孪生具象化的思考就是在项目的全生命周期管理中数字化应用系统工程。



来源：达索系统代理商百世慧

图 23 数字孪生应用层级结构

3. 车间管控

车间数字孪生通过构建物理对象的数字化镜像，描述物理对象在现实世界中的变化，模拟物理对象在现实环境中行为和影响，以实现状态监测、故障诊断、趋势预测和综合优化。为了构建数字化镜像并实现上述目标，需要 IOT、建模、仿真等基础支撑技术通过平台化的架构进行融合，搭建从物理世界到孪生空间的信息交互闭环。

(六) 技术发展趋势

1. 我国工业数字化平台整体能力的提升

我国工业数字化平台整体能力的提升是指利用新一代信息技术，如大数据、人工智能、云计算、5G 等，推动制造业的数字化、网络化、智能化转型，提高生产效率、创新能力和市场竞争力。

工业数字化平台应用生态意识逐渐增强，应用接入、应用管理等能力受到重视，平台间应用和数据等相关能力共享逐渐成为共识。

随着技术的发展，Paas 层关键能力在突破，PaaS 层整体水平取得较大的进步，研发设计、人机交互、低代码开发、工业模型、数

据模型等平台关键能力提升明显，数字孪生等新技术在平台探索应用。

近年来我国智能化边缘设备得到快速发展，边缘智能运维、边云协同、边缘分析及应用部署等相关能力提升明显。

我国工业数字化平台整体能力的提升是一项长期而复杂的系统工程，需要加强建设，让工业数字化平台为制造强国和现代化经济体系提供有力支撑。

2. “5G+工业互联网”实践已初步展现变革性的赋能意义

“5G+互联网”是指利用 5G 技术为互联网提供更高速、更低时延、更广连接的网络支撑，实现互联网的升级和创新。“5G+互联网”的实践已初步展现了变革性的赋能意义，主要体现在以下几个方面：

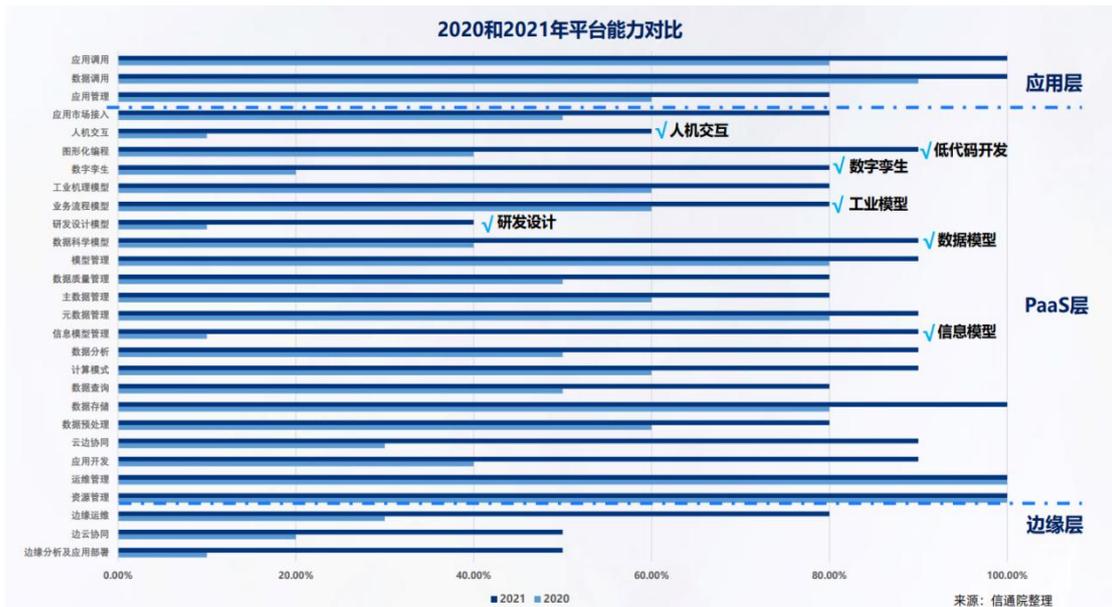
1) 5G+互联网可以推动数字经济的发展，为各行各业提供新的动能和机遇。根据《5G 应用“扬帆”行动计划（2021-2023 年）》，5G+互联网将在基于数字化、网络化、智能化的新型城市基础设施建设、智慧社区、智慧医疗、智慧教育、智慧交通等领域发挥创新应用，全面提升城市建设水平和运行效率，增强人民群众的获得感和幸福感。

2) 5G+互联网可以赋能工业互联网，助力制造业转型升级。实现工业产品个性化定制、柔性生产、远程协作等新模式，提高生产效率和质量，降低成本和风险。

3) 5G+互联网可以促进科技创新，为社会进步提供新的动力和可能。5G+互联网可以支持大规模数据采集、传输和分析，为科学研究提供更丰富的数据源和更强的计算能力。5G+互联网还可以实现跨

地域、跨领域、跨层次的协同创新，为科技人才提供更开放的平台和更广阔的空间。5G+互联网还可以推动科技成果转化和产业化，为社会发展带来更多的价值和效益。

综上所述，“5G+互联网”的实践已初步展现了变革性的赋能意义，为我国经济社会发展开启了新模式、新空间、新未来。



来源：中国信息通信研究院整理

图 24 工业数字化平台能力对比

四、新趋势：技术衍生新商业模式

(一) 协同制造

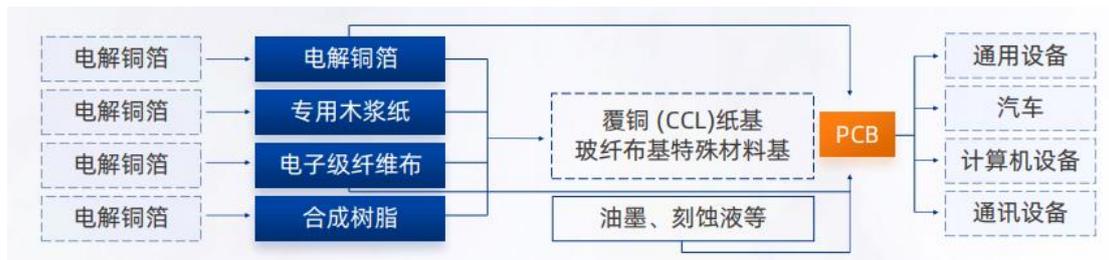
1. PCB 行业

(1) 行业特点与需求

印刷电路板（即 PCB，Printed Circuit Board）被誉为“电子信息之母”，指采用印制技术在绝缘基材上按预定设计形成导电线路图形或含印制元件的功能板，用于实现电子元器件之间的相互连接

和中继传输，是电子信息产品不可缺少的基础元器件。

然而，PCB 印制板的生产是一种典型的接单生产模式，行业属于“短周期、多品种、小批量、低价值”性质。其现状是需要搭建信息化平台将解决企业的信息孤岛和业务断链问题。



来源：中国信息通信研究院整理

图 25 PCB 行业产业链概述

首先，PCB 产业缺少一体化的全业务链闭环管控。PCB 企业目前缺少真正的一体化管控平台，需要搭建可扩展的一体化、规范集中管控平台，即目前没有做到整体业务与财务一体化管理，财务无法监督及配合计划、供应链、生产管理等业务。

其次，工程管理、报价管理、成本管理是 PCB 产业的核心内容，且 PCB 印制板生产和工程处理非常重要频繁，包含下料图、工艺流程、钻孔图、层压图等设计工作。同时涉及到众多客户设计资料、工程设计资料等，急需有效的管理平台。另外，PCB 的作业成本管理机制是将一个或者几个工序定义为一个成本中心，所有费用都需要统计到成本中心的模式，这对系统的成本管控能力提出了更高的要求。

(2) 应用模式与路径

工业数字化助力 PCB 产业解决痛点需求，主要形成从销售、

工程、计划、生产、委外、变更、成本等核心业务流程，通过一体化平台的架构进行深入的行业化应用定制，进而满足 PCB 企业的提质、降本、增效管控要求。

一是打通销售管理流程审批。从销售接单开始，可根据图号判断是新投还是复投，根据客户需求判断是军品还是民品。新投的评审单可上传客户设计文档，完善报价信息。通过规则和流程的打通，实现了客户需求快速转化为内部评审单、报价单、预签订单、销售合同、销售出库、销售发票的全业务链的协同和打通，提高了接单和报价效率。

二是实现计划管理高效执行。计划管理是衔接采购、销售、工程、生产的关键。首先，要确定客户订单是全委外还是自制，或是使用余板库存；其后，基于公司的产能和客户需求确定工程计划，采购计划等工作。通过一体化平台，PCB 企业可实现 PMC 在一个系统中衔接各个业务板块，实现计划的高效合理制定和调度。

三是支持工程管理全流程处理。PCB 行业的工程管理是核心内容，其能够为企业的降本增效提供全面的支持。工程管理主要处理内容包括从下料、MI 制作、工艺流程等的设计工作。如果是自制，工程处理时，可直接下载客户文件，如果是复投，只需调出原工程文件与客户文件比较对原工程文件进行修改复核。如果是新投，则需要进行多层板叠层结构、钻孔表、工艺流程、光绘、开料图、电测、涂镀方式、板材等设计和确认；如果是全委外，工程处理时，下载客户文件，制作外发文件，制作检验包装工艺流程即可。

四是保障生产管理质量审核。生产部门按计划安排车间生产，工序之间通过过数、接收确认数量。两道工序之间通过接收承接工序动作，确认上道工序数量、激活本道工序；工序完成，通过扫码过数汇报完工数量；在生产现场，每道工序可通过电视显示器（看板）看到当前任务。可通过扫工艺流程卡上条码实现快速过滤工序，进行过数、检验等。通过生产现场引入条码和智能终端，实现生产过程的高效过数和汇报，提高了生产现场的数据采集效率和数据准确率。

五是助力成本管理提质增效。PCB 产业生产订单的三大原材料的成本占据了约 60%，其价格受制于外部环境和供应链的变化，所以企业内部的有效管控关系到每个订单的利润是否有提高空间。基于一体化平台，可设置生产过程中的作业成本的各项分摊系数，通过录入期初在产品成本，引入管理费用、制造费用等。逐级核算成本，最终可计算在产品、完工产品的真实成本，为企业做出合理报价和优化决策提供了数据支撑。

（3）平台模式解决行业难题：数字赋能



来源：中国信息通信研究院整理

图 26 捷配数智化协同工厂

通过平台模式有效解决行业难题，数字赋能 PCB 企业。一制造（订单）共享。企业通过平台对供应链端制造企业的产品定位与交期品质水平等一系列数据的分析与匹配，将全球订单分拨到最合适的制造商。通过数字化、自动化技术赋能，实现了对订单交付过程的有效保障。实现了柔性的平台+刚性的工厂想结合的新型生产组织模式。二是区域产能共享。企业搭建区域性的产能共享平台，促成产能供需方达成双面合作，一方面有效地让工厂闲置产能被充分利用起来，提高了产能发布方的经济收益，另一方面产能接收方也可以享受到更优惠的加工成本和更强的生产交付能力，实现了双赢。三是检测实验设备共享。平台建立线上虚拟的和物理实体空间的共享实验室，企业可通过平台将部分检测实验设备对外开放使用。设备提供方获得了一部分的经济收益，设备使用方无需花费高昂的购置成本，实现互惠互利的结果。四是工业品集采服务。通过平台实现生产常规物料集中采购，采购方享受价格折扣和更有利的付款方式；对于非常规物料，平台联合上游的原材料厂家，按区域进行本地化的统一仓储备料，备料仓通过数字化平台对企业开放采购。降低生产企业的备料风险，保障各规格订单的按时交付。

捷配电子行业工业互联网平台通过数字赋能行业、资源协同共享两大核心举措，对捷配协同制造体系内的数十家印制电路板生产制造企业进行数字化改造，实现了生产过程透明化、数据可视化、管理智能化，达成订单+技术双引擎驱动的工业生态，最终形成协同制造服务体系。



来源：中国信息通信研究院整理

图 27 协同制造服务体系 ECMS

2. 面料行业

(1) 行业生产特点与需求

面料行业是服装行业产业链中的重中之重，其中原因之一便是高毛利，布料从厂家到终端服装公司的流通环节毛利 15%~50%不等，这相比其他产业的 B2B 公司的利润空间更大。

然而，面料作为一个相对传统的行业，数字化改造有很大的渗透空间。面料行业最核心的资产是纺织厂或织机数量，以及依据此积累的数据和技术。面料交易市场容量巨大，但却尚未在互联网展现出潜力，除了此行业带有很强的传统经济色彩外，更多是因为人们缺乏对此行业的了解。面料行业所面临的痛点如下：

人为造成非标和中间环节冗长。面料的样式、材质等均难以用文字语言准确描述，是一个高度非标品类，同时线下衍生出了纷繁复杂的链条和环节，造成产业链之间的交易成本较高。各级供应商为了长期攫取巨额利润把价格和渠道的透明度降到最低，对客户实施各种非正规牟利的手段，造成供应链环节成交叉型且层层加价，行业集体陷入了低效率、高成本的情况。

面料进出库管控不严，物控管理难度大。在面料生产时，安排

辅料的到货情况、产品打样时需要的面辅料库存信息、样品完成后快速找到需要的样品等信息及工作都较难准确把握。面料的物控管理较为混乱，在进行采购生产时，无法获知物料的实时分配情况；进行裁剪时，面料的长度及幅度与衣架是否匹配也难以确定。

服装定制化趋势显著，呈现生产品种多、批量小、翻新快的特点。我国纺织业长期习惯于大批量、订单式的生产模式，而如今涌现的个性化定制需求给规模化生产带来了强烈的冲击。多品种、小批量、快翻新成为订单的新特性，客户零散、无计划、小批量的订单使得采购的规模效益难以形成，供应链备货困难、成本攀升显著。同时，传统工厂的设备、流程、工艺、理念都适用于大批量生产，灵活性严重不足。

阶段	运输成本	沟通成本	接触成本	结果
全球化之前	高	高	高	生产者离消费者越近越好
第一次拆分	低	高	高	生产者与消费者分离
第二次拆分	低	低	高	生产环节之间分离
第三次拆分	低	低	低	服务业可贸易

来源：中国信息通信研究院整理

图 28 数字经济推动服务贸易全球化

（2）应用模式与路径

面对面料行业的困境，数字化转型能够助力其解决痛点需求，形成智能化数据采集、数据分析可视化、系统分析决策、供应链协同四大数字化关键步骤。

数据是数字化的基础，数字化升级首先要实现基础数据的连接

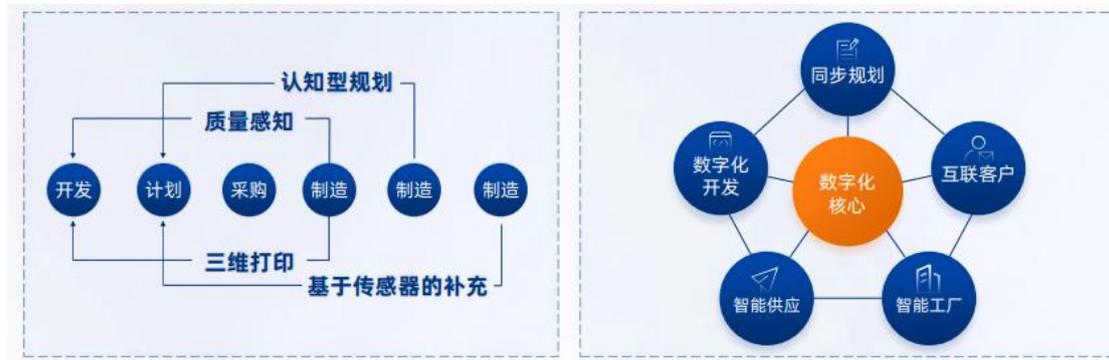
和管理。根据纺织业的痛点，首先可以从基础生产数据采集入手，通过智能传感代替人工记录，搭建信息化基础，规范车间运作流程，保证信息的时效性和准确性，实现车间管理信息化。其次，注重智能化装备的使用，在替代部分人工的同时，可实现各工序生产设备的数字化智能控制，从而达到各种纺织品及设备在线自动检测和设计的数字化。

着手信息化软件与系统建设，完成数据分析及可视化。完成数据连接后，下一步就是基于业务需求分析和可视化展示，根据业务指标生成报表、可视化报告。此时，企业可着手信息化软件与系统建设，为信息化和自动化的融合奠定基础。

精益分析，机器学习，系统辅助分析及决策。企业可利用上述数字化软硬件技术和工具实现精益化分析和决策。结合实时数据驱动数字化诊断，实时、全面、智能地发现企业生产问题，通过精益分析优化生产、降本增效，提升产品制造的数字化水平。基于精益分析结果，企业能够快速准确定位生产运营问题。通过大数据和人工智能技术，系统可辅助管理人员快速分析问题产生原因且提供解决方案，乃至解放管理人员进行自动决策。

连接外部企业，优化供应链协同。企业在内部生产管理系统搭建形成后，必然需要与供应链其他企业进行连接。例如针对小批量、定制化订单问题，纺织企业应注重改造传统供应链，实现柔性生产，打造信息化供应链管理体系。根据企业情况及实际业务场景打造数字化柔性供应链管理系统，建设实时可视、以客户为中心的数字化

供应链。打通产业链，协同上下游，将企业上下、内外紧密连接，在数据联通共享的基础上，根据需求快速更迭进化，调动全员敏捷创新。



来源：中国信息通信研究院整理

图 29 传统供应链（左）和数字化供应网络（右）

综合来看，面料产业的数字化转型是一个系统性工程，它不仅仅是技术的简单应用，它涉及企业设计、制造以及运营的方方面面。数字化转型也不是面料企业的终极目标，而是帮助面料企业完成自身提升的一个重要途径。

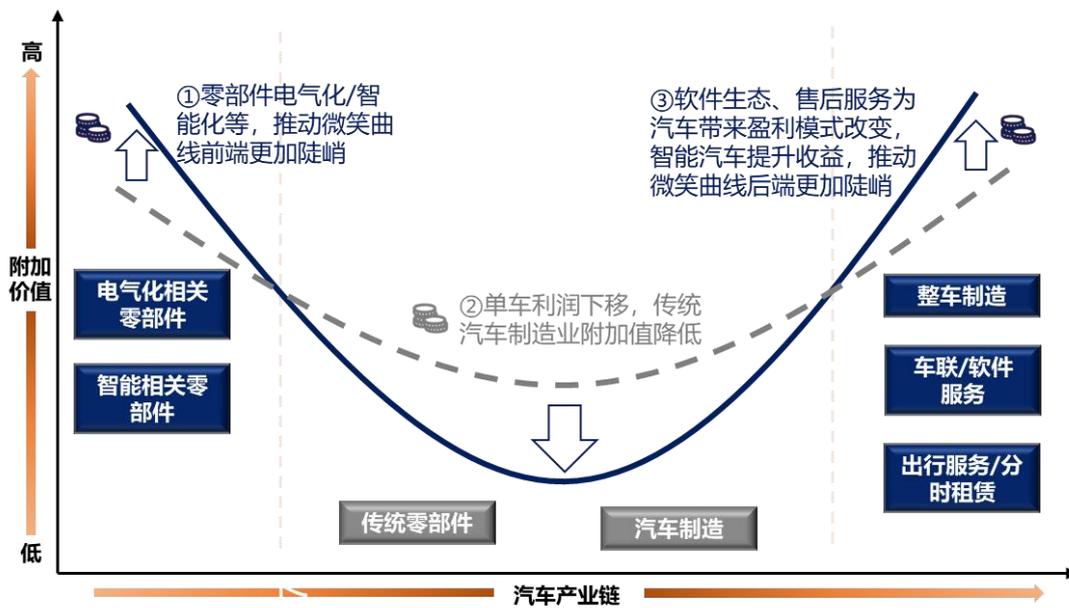
（二）云边一体

1. 新能源汽车

新能源汽车机遇当前，智能化和电动化供应链对于新能源车企来说无疑是未来汽车产业链中的价值高地与核心壁垒，推动高质量数字化发展显得尤为重要。据 2022 年世界新能源汽车大会数据显示，全球汽车增长乏力的背景下，唯有新能源车凭借 66.38% 的高增长率成为全球经济新的增长点。其中，中国新能源车以 260 万辆的销量，15.58% 的同比增长率、21.6% 的市场渗透率，呈现出显著

的上升趋势。

汽车产业链，以整车为核心，供应链呈网状结构，配套体系庞大复杂，专业化分工和全球化程度较深。所以相对于传统的 QMS 数字化管理，新能源汽车的数字化管理已进入一个全要素、全链路的过程。实现完整的全要素管理必须将工装模具的使用、加工工艺参数的变化等影响因素都纳入管理中。对于汽车零部件行业来说，全链路不仅包含整车厂、零部件厂、原材料，而且要将主产业链中的设备供应商、辅料供应商都全部纳入，并在未来实现这些不同的质量因素在算法层的自动管控。



来源：中国信息通信研究院整理

图 30 汽车产业供应链微笑曲线

数字化质量管理全追溯落地，真正构建供应链之间的链路。通过数字化转型，新能源车企能够有效打通原材料到成品、车间与车间、不同供应链工厂的链路，形成真正的数据链条，实现总质量数据的自

动汇总。所有的数据都能够通过此模型自动传送到上层，形成生产车企所需要的质量管理报表，而当所有的检验过程都在系统中操作时，控制质量的相应要求也可以内置在软件内，进行相应的自动管控。当发生各种异常时，系统能够自动触发相应的质量流程，对批次产品进行冻结，对设备进行数字化操作，有效提高质量管控。

对质量管理而言，结构化的数据才能进行大数据分析永久性保存和解锁。当所有数据都存在系统中时，就可以根据需求生成不同的质量报表。全追溯对于汽配企业来说非常重要，通过数字化的应用，给工厂实现了批次追溯、单件追溯，可以通过单件产品了解每一道加工信息，包括在不同工厂之间相互追溯信息，从整车到原料，整条链路、中间辅料和配套材料也可以有完整的数据。



来源：中国信息通信研究院整理

图 31 新能源汽车“数字化→智能化”流程

伴随着互联网行业与新能源汽车行业结合，智能汽车成为汽车行业新的发展方向，新能源汽车与互联网大数据融合更是顺应了我国绿色发展的理念。近年，我国涌现出一批以互联网科技公司为主体的“造

车新势力”，特别是在新能源汽车领域，这类公司依托云计算、人工智能、协同式环节感知系统等技术，试图颠覆传统汽车产业形态，重新定义汽车商业价值。

此外，目前大数据在我国新能源汽车的应用主要集中在车辆运行数据的监控和服务，尚存在一定的局限性。未来大数据与新能源汽车的融合应基于产品全生命周期思想涵盖研发-使用-售后-回收多个阶段，新能源汽车工业将更加数据化、透明化。

2. 装备管理

目前，装备制造业的品种、规格、厂商冗杂繁多，存在装备数量杂多而员工数量较少的矛盾，装备管理难度大。针对这一矛盾，亟需利用信息化技术的数字化、网络化、智能化降低随性管理的安全风险，同时为满足企业高效率、高质量的生产需求，实现对生产设备、工艺装备、台账、故障、维修、盘点、点检及报表等流程的信息化管理，达到装备日常管理和状态记录的全过程数据留存，打造装备全生命周期健康管理数字化平台。

装备管理的数字化需要通过采集并分析大量数据来认知和掌握装备生产环节的运作过程，从而精准控制装备产出的数量和质量，降低因人工依赖导致的误差和不确定性。促进装备管理的数字化，能够最大限度的减轻管理人员的工作量，使得管理人员能够更及时、更准确地掌握装备的工作状态，真正实现装备的网络化动态管理，为公司提供准确可靠的计量数据。



来源：中国信息通信研究院整理

图 32 装备平台管理模式图

具体而言，立项管理场景中，实现对装备采购立项、设计任务书、采购清单等业务管理。验收管理场景中，实现对装备的开箱验收、安装验收以及质保验收管理。台账管理场景中，整合各模块管理，实现装备生命周期管理，包括建卡立档、领用管理等内容，建立装备管理档案。工作督办管理场景中，实现督办事项创建、变更、关闭管理，记录项目督办变化历史，对责任人及督办事件进行存储。大修保养管理场景中，建立装备大修管理流程，建立装备点检、润滑、周期检查等业务管理，建立装备维修申请、维修记录及验收管理，实现检验精细化管理，支持多套标准化管理。知识库管理场景中，实现对公司体系文件、技术标准等各类资料的分类管理，形成统一的电子技术信息库，为公司的统计分析管理提供技术支持。

此外，移动办公能够支持各类智能移动装备的接入使用，结合条码、摄像、RFID 等技术，通过移动公网、无线网络、有线网络等实现台账查询、盘点管理、维保管理、备件查询等业务。

通过生产智能管理平台的建立，企业的装备管理能够实现数据的

集中化、信息化存储与共享，提升管理水平，使装备使用的安全性、可靠性不断提升，保障装备制造能力和生产效率方面的综合能力持续提升。

3. 智能家居

随着物联网、5G 技术的逐渐成熟，智能家居的定义经历了从 1.0 至 3.0 的变化，从通过感知技术进行判断并指令各种与信息相关的家居装置，到能够感知用户在家中做的任何事情，随时能够通过智能化的功能给予生活支持、满足及时性需求、提供智能化服务，实现了围绕人的需求这一智能家居的智能本质。

在智能家居中，产业链中游为关键环节。产业链上游为技术层和基础层，主要参与企业包括芯片、传感器、智能控制器等硬件供应商以及 AI 技术、云服务等软件供应商，中游为智能家居系统及设备的设计智造，下游为消费市场，To B 端主要是房地产公司、家装公司等，To C 端主要是线上线下经销商、品牌自营店等。



来源：中国信息通信研究院整理

图 33 智能家居产业链

当今我国智能家居行业近年来的发展趋势主要由全屋智能、语音交互和信息安全三方面。

全屋智能是我国智能家居行业发展的风向标。IDC 发布的《中国全屋智能这杯和解决方案市场回顾和展望，2021》报告显示，我国全屋智能市场在产品、技术、服务能力是均呈现快速发展态势，场景布局不断深入，设备功能逐步升级，连接和交互技术持续演进，渠道体系拓展并完善，服务能力不断强化。

语音交互是我国智能家居行业发展的另一大发展趋势，目前来看，搭载语音助手的设备产品主要为智能手机和可穿戴设备，但其在智能家居方面也有着非常大的市场潜力。智能家居行业的领先企业也纷纷推出以智能音箱产品为控制中枢的语音交互体系，例如小米、阿里均已通过搭载这类产品提升对智能家居行业的渗透率。

此外，智能家居产品的快速普及、应用场景的不断丰富在给家庭生活带来便利的同时也使得信息安全问题浮出水面。由于智能家居产品采集存储了大量消费者信息，信息泄露风险提升，同时智能家居设备多为远程网络操控，网络安全的威胁也显著提升。因此，未来智能家居厂商需要不断提升终端设备产品的安全性能，加强云端设备数据安全，持续提升信息安全水平。

总的来说，我国智能家居行业正处于快速发展阶段，随着人工智能等技术应用的愈发成熟，硬件设备和消费者需求的快速提升。在我国国家政策鼓励和支持智能家居行业发展的加持下，智能家居市场的规模将不断扩大，行业将迎来全面爆发期。

(三) 柔性生产线/个性化定制

1. 家装行业

(1) 行业生产特点与需求

家居家装是一个数万亿级别的大行业，目前不少企业都在积极探索数字化变革方向，但是因为各自体量都不够大，尚未有家装企业真正经过大量订单的交付验证。且在家装行业的不同细分领域，数字化程度均有所区别。定制家居的数字化最为先进，此领域的定制属性强，消费者需求多样，价值链足够长，企业必须进行前后端一体化全链条打通，在每个环节都需要通过系统连接，而装修企业没有数字化的解决方案也仍然可以正常营运。整体来说，家装行业仍较为传统，长期存在运营效率的痛点，需要大量的人力成本来完成每个环节的交付。

首先，家装行业触达 C 端消费者方面存在明显短板。从商业模式来看，家装企业多为 B2B 模式，依靠经销商或代理商开设在全国各地的线下门店来完成产品的分销，进而触达 C 端消费者，也就是说，大多数家装企业无法直接接触到消费者，并不了解终端客户的需求数据和营销模式。多年以来，绝大多数家装企业的成果主要依靠的是市场红利和人口红利，主要发展模式是提升产能、扩充渠道、拓展品类，但对于其自身的战略能力、组织能力和信息化能力都十分薄弱。此外，家装行业的发展目标多以规模为导向，而非利润率。以家居建材企业为例，大量公司的毛利尽管都很客观，但最终转化的净利润却不高。由此可见，家装行业的经营效率和质

量管理不够精细化，常常出现增收不增利的状况。

其次，家装行业数字化较为落后，存在较大的提升空间。家装行业相比家居建材行业，是典型的“大行业，小企业”，数字化推进并不顺利，工具应用较少，将数字化上升为企业战略十分困难，只有极少部分企业比较重视数字化能力建设，主要原因如下：一是家装行业的实际交付服务落地过程仍以手工作业为主的重服务模式，签订合同交易后需要对人、物、流程、数据、工艺、工法的及时有效、非标化管理；二是不同的供给和履约都是线下模式，每个环节的信息化、数字化程度不同，彼此之间均为信息孤岛，尽管部分企业计划数字化转型也并不容易。



来源：中国信息通信研究院整理

图 34 家装行业传统业务流程

此外，在细分领域下，门窗、照明行业的传统厂商难以满足市场需求。门窗行业是数字化渗透率较低的品类之一，市场高度分散，品牌化集中率低，如何通过数字化工具助力企业做大产值，让设计智造一体化提升整体效率成为门窗企业要重点解决的转型难题。照明行业同样经历从卖单品向卖整体解决方案升级，在智能化、情景化、无主灯设计的新趋势下，品牌厂商传统门店对智能照明场景化展示不足，静态效果图展示形式单一，无法呈现情景互动效果。

(2) 应用模式与路径



来源：中国信息通信研究院整理

图 35 家装行业应用模式与路径

家装行业进行数字化转型，科技或工具只是一方面，推动者、服务者这类“人”的因素也十分重要，尤其在家装这种传统的行业里，数字化转型的本质是组织转型，资金技术和组织能力是不可能分割的两个部分。实施切入点是从商业 SaaS 解决方案、数字化营销、全流程产业服务这三个方面来剖析数字化发展战略，解决企业内部效率问题、品牌力问题、流量效率和转化问题。

全生命周期产品数字化商业 SaaS 解决方案是指通过 3D 设计、营销获客、前后端一体化、企业数字资产沉淀等数字化手段，帮助包括装修企业、设计机构、软硬装品牌商等大家居商场实现不同场景需求，提供一站式数字化解决方案。

全域营销数字化能够撬动全域精准家装行业流量。通过打造新媒体整合营销，撬动全域精准家装家居流量，联合设计师、行业 KOL、家装家居 KOC，形成完整的装作者体系，实现品效合一。通过数字化能力和营销服务能力深度融合，形成一套“SaaS 工具+全域营销”的组合拳，推动商家业务快速升级。

基于消费者数据洞察的全流程产业服务，能够针对商家在精准

获客、服务周期长、消费决策慢、装修环节多方面的困阻，深入用户痛点，为商家提供从引流获客、需求挖掘、用户运营、营销活动、店铺运营的全流程产业服务一体化解决方案，从而提升服务效率。

例如，门窗行业的营销、设计、生产一体化解决方案成功提升其产品转化效果。2022年，酷家乐打造出的针对门窗行业的信息化流程，覆盖了从前端营销获客、方案设计到后端下单生产的各个环节，行业正在从单纯卖货转向以“场景化”为主的营销模式，前端通过线上的朋友圈、短视频、私域流量和线下的门店二维码、扫楼等方式触及潜在客户，借助酷家乐“设计工具+视频模板”制作渲染视频发布各个平台，获取流量实现中台转化，无主灯设计的同比增长率显著提升。随着各个细分领域营销、设计、施工、交付全链路解决方案的更多客户实践，家装行业数字化需要朝着做深做大各个领域发力，不断挖掘新的消费趋势，推出新的工具产品。

总的来说，家装行业数字化转型不仅包括科技工具的赋能，还包括全域营销数字化的赋能和一体化产业服务，在推动企业数字化转型过程中，三者缺一不可。

2. 服装行业

（1）行业生产特点与需求

受到宏观经济下行趋势的影响，外需下降内需不振，近年来国内服装市场增速放缓。服装行业是劳动密集型产业，行业分散缺少巨头，整体供应链条和零售流通链条的数字化和智能化水平很低。

服装行业的产业链简单概括来讲为“面料辅料生产供应商-服装

加工-服装品牌商和非品牌商（营销与渠道）-消费者”，其中，研发与渠道营销为附加值最高的环节。



来源：中国信息通信研究院整理

图 36 服装行业产业链

服装行业面临的痛点如下：

一是服装行业整体供应链条的信息化和数据智能化水平很低。服装的设计、生产和流转过程有许多细碎的分解动作，产业链条简单但冗长，参与方众多且分散，以中小企业为主，这些中小企业在产品研发和 IT 信息化投入都非常有限，管理方式落后，导致整个行业的信息化和数字化水平较低，直接导致生产成本高、交付低效且不稳定。

二是消费者个性化需求上升，产需协同程度低。服装行业品类多深度大，时尚穿衣潮流变化迅速，产销分离导致库存积压严重是行业的运营趋势。在流通端，因为本身的线下属性和数据的缺失，行业通常处于非常低效的状态；在消费端，个性化、定制化消费的浪潮迭起，对供应链的稳定性、时效性和智能化生产能力提出更高要求，但品牌商却找不到能支撑其“小单快反”需求的供应商。供给

端的落后严重制约需求端的创新，服装供应链的改革迫在眉睫。

三是头部的高奢、快时尚和电商品牌数字化智能化程度远高于国内大量传统服装品牌。高端奢侈品牌如 LV、GUCCI 等，在多年的发展过程中树立起稳固的高端品牌形象，它们更多将技术应用于供应链、交付、采购支付系统和风险管理等领域。以 Zara 为代表的快时尚品牌压缩生产周期和对潮流快速把控，从概念设计到成衣上架只需要短短 5 周，整合新技术给供应链提效。国内电商起家的品牌如韩都衣舍、裂帛等以线上渠道数字化为主，电商品牌对数字化理解相对更深刻。传统服饰品牌如班尼路、美特斯邦威等老牌休闲服饰面临巨大的经营和转型压力，数字化和智能化程度低。

四是服装加工厂数字化的重点在于提升小单快反和柔性生产能力。在传统的服装行业，一件衣服从设计到上架销售历时漫长，在设计大概需要 1-3 个月，之后进行面料采购，工厂代工，召集分公司和代理商订货，最后进行配送和补货等，整个周期通常需要 4-9 个月时间，相比较 Zara 从设计到上架销售仅需要两周时间。消费者日益上升的个性化需求、消费者对当下潮流风潮的追逐、商家对爆款的快速返单要求等都需要工厂具有较高的数字化和智能化的生产力。

五是服装渠道商数字化的重点在于提升营销、实体门店和线上电商的运营水平。服装是互联网零售的第一大品类，而电商平台尤其是淘宝和天猫也早就上线了各种数字化和智能化手段更好的服务品牌商和消费者，如以图搜图，帮助消费者通过图片搜索自己喜

欢的衣服，商家则能够通过消费者画像和消费行为数据、销售数据进行智能用户运营等。除了线上的数字化场景，更广阔的线下门店数字化和智能化升级也逐渐成为必需，如线下虚拟试衣，客流分析等，将线下消费行为数字化，通过各种数字化触点改变实体门店被动等客、辐射范围窄的问题。

总的来说，服装行业全链条都存在需要数字化升级的地方。从供应端来看，数字化和智能化应用场景是设计、生产制造环节、供应链资源整合环节；从零售渠道端来看，数字化可以革新的主要是营销环节、线上线下的零售环节、以及智能服装产品本身。

（2）应用模式与路径



来源：中国信息通信研究院整理

图 37 服装智能+应用场景

服装行业大致可分为供给端的产业互联网数字化、流通零售端和供应服务端的数字化。

管理和技术、人才战略等是服装企业数字化的通用架构。产业链上下游均需通过创新技术对管理组织进行数字化和智能化转型，制定适合本企业组织模式的定制化解决方案。在管理上，优衣库、Zara 等快时尚品牌所采用 SPA 模式逐渐被国内服装行业接受，即后端自主设计、前端采用直营大店，高度参与面料采购、商品生产、供应链流通等中间环节，形成一体化管理，从模式上把经营效率提

升到极致。但在这一层面，国内大部分企业还处于追赶阶段，正在从加盟模式向直营或类直营转型。除了管理的数字化以外，数字化和智能化变革成本较高，需要强有力的资金支持，服装产业作为实业无论是产能端还是零售端都要进行物流和仓储的数字化智能化以降低成本，缩短物流耗时；针对个体企业来说，需要有一个适合中小企业的整体上层战略规划和框架，并找到匹配的优秀人才来执行。

产能端的数字化主要包括数字化设计、供应链数字化、智能生产和数字化仓储物流。数字化设计主要是基于门店和电商反馈数据，并基于人体身材大数据库，采用 3D 和人工智能技术提高设计效率，实现新颖独特的产品策划，目前身材大数据缺乏，仅有少部分企业如红领集团、雅戈尔等企业在计划或在建设身材数据库，提升智能设计和个性化定制能力；供应链数字化主要是将设计师、面辅料、生产工人、代工厂等各种资源在线化和平台化，实现企业之间以及企业内部资源的梳理和对接，帮助品牌商和生产商快速高效对接需要的资源；智能生产采用多种创新的工业软硬件，提高生产效率。作为典型案例的红领集团将 RFID 物联网芯片应用到服装定制业务的生产车间，尽管定制模式相比批量生产效率下降，但是成功消灭了库存，使其净利润可达到 20%~30%，远高于传统成衣行业，相比之下美特斯邦威巅峰时期的净利润仅为 12%。

零售流通端的数字化主要包括数字化营销、线下智慧门店和线上渠道数字化。中国服装行业迈入了消费者驱动行业融合的成熟零

售阶段，全渠道的搭建和融合成为共识。线下门店提供了重要的试穿体验、同时也可以作为线下的流量入口给线上引流，还可以作为线上的前置仓库。传统上门店对客户数据不掌握，守株待兔式被动等待消费者，消费者在购物离店后就失去联系；现今门店采用各种软硬件升级为智慧门店，如客流统计、人脸识别、虚拟穿衣镜等，改善消费体验，帮助门店了解消费行为。在线上，品牌方通过多种数字化的触点主动触达和寻找目标消费者，线上线下相结合和相互引流。淘宝和京东等渠道商也在通过各种人工智能技术、智能推荐、虚拟试衣、以图识图等提升消费者购物体验，降低消费者的决策成本。

从第三方来看，数字化供应链服务商能够帮助企业高效整合资源，其通过软硬件链接产业链单点之间的信息交互效率和生产效率。一件成衣的生产需要有多个环节，包括面料辅料供应、设计师、加工厂、人力工人、出资方等。而供应链平台将这些服装行业所需要的资源进行整合，对接服装品牌商和设计师。

综合来看，随着需求端、产能端以及渠道端的变革，服装行业未来主流的商业模式应首先将智能数字化技术融入到自身的业务流程中，提升对消费者需求和潮流的感知度和响应力；根据企业的定位将自身商业模式做到极致，积极与服装产业及其他产业的相关资源进行协同配合，以提升自身效率及竞争壁垒。但是需要注意的是，数字化和智能化的手段都是基于品牌和产品的，服装行业数字化提升了效率，但随着消费升级大趋势的发展，消费者整体上对于

品牌和品质的追求增多，因此在运用数字化和智能化手段的同时更要首先重视产品和品牌的建设。也就是说，服装产品需要品牌和品质建设来提升溢价空间，并利用数字化和智能化手段去支撑品牌的品效合一。

(四) 技术发展路径探索

产业数字化是数字经济的重要组成部分，大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术与工业的融合发展，极大改善了工业内涵，提升企业数字化成长速度。在当前产业变革的关键时期，制造业企业的数字化转型和智能制造模式是实体经济转型发展的主要载体，我国工业应当不断加强对数字化和智能化技术的应用，在未来实现数字化爆发式成长。数字技术衍生新商业模式可以从智能发展、信息链条、并行推进三个方面着手进行技术发展的路径探索。

首先是智能发展。一是建设智能化工厂，这是数字化或智能制造的核心。一方面是实现装备的智能升级，另一方面要构建智能设备、生产线、加工控制和车间决策系统，提升生产调度和管理效率的可靠性。也就是说，数字化企业需要集成关键技术、智能工厂等要素，整合企业内部各个环节，创造出满足具体行业需求的智能制造方案。二是开发智能化产品。智能产品具有更人性化的人机交互界面，甚至具有“自主优化”的功能，可以根据用户习惯或使用特征自动做出调整。未来智能产品实现高度宜人化的关键就在于人工智能加速发展，尤其在跨界融合、人机协同、群智开放、自主操控等技术领域。三是提供智能化服务。智能化技术能够帮助制造企业从

提供产品向提供“产品+服务”转变。通过采用人工智能、5G 等技术进一步突破制造业上下游的边界和细分行业之间的壁垒，将社会化、专业化分工与共同协作的能力进一步融合，制造业的产业形态将会增强对社会需求的适应程度，企业数字化成长的方式将会变得更加丰富与灵活。

其次是信息链条。以用户需求为中心的信息化流程能够从发现顾客需求到满足顾客需求实现闭环优化，而且能够对订单的全流程进行优化，通过实时的信息共享及全流程订单的可视化。因此，企业内部、用户、资源方等要加强协同，改变以往信息孤岛的产业断链的状态，把信息变成一个同步的环状状态，把用户需求在第一时间反馈到企业运营中，让各个利益攸关方协同完成。此外，需要通过数据分析提前预警，提升生产效率，避免生产损失，进而实现研发、营销、供应链三方高效协同，快速响应用户需求，实现零库存下即需即供。

最后是实现并行推进。按照中国工程院提出的智能制造范式，智能制造建设分为数字化、网络化、智能化三个阶段，按照“数字化—网络化—智能化”的发展路径，智能技术从制造单元个体渗透至群体，塑造出智能制造生态。智能制造生态意味着数据、协同、智能等要素汇集在一起，重构整个商业系统，基于大数据把碎片化的生产和需求信息对接优化。但从现实来看，国内企业发展水平层次不一，尽管个别企业已经实现智能化发展，仍有很多企业处于数字化改造阶段，甚至处于较为传统的运营模式。推进智能制造过程

中必须实事求是，要优先完成对数字化技术基座的底层建设，推动制造业产业链从材料、零部件、成套装备到生产线的智能改造。鼓励企业专注于核心基础零部件、关键基础材料、先进基础工艺的技术改造，推动企业开展全方位技术改造。推进智能化、数字化技术在重点行业的研发设计、生产制造、经营管理、售后服务等关键环节的深度应用，通过完善数字化基础，为未来的网络化、智能化发展提供支撑。

总而言之，工业数字化是数字经济的重要组成，在当今产业变革的浪潮中，中国制造唯有拥抱数字化，方能实现具有强竞争力的中国智造目标。智能制造是一种基于大数据信息而塑造出的一种新制造模式，数字化是其底层技术基座。通过生产的智能化改造，将推动我国生产自动化水平和工业机器人的发展应用进程，大大提高企业总体效率、降低制造成本。同时，通过各类企业及机构的交互式创新活动，将有力推动我国工业制造企业创新能力的提升和向服务型制造转型，推动企业走出低端制造的困境，真正实现各行业各细分领域的数字化转型发展。

五、新势力：优秀企业案例

(一) 捷配

杭州捷配信息科技有限公司通过捷配电子行业工业互联网平台，助力链上中小型制造企业的数字化转型，发挥企业间的协同效益，实现传统制造业转型新生态。

1. 产品介绍

捷配电子行业工业互联网平台面向电子制造行业的上下游企业提供数字化赋能和资源协同共享两大服务。

（1）数字赋能行业

1) 工程技术服务（工程云）

第一，DFM 通过图形处理、人工智能技术大大提升产品设计图纸的可制造性分析、生产工艺难点提示以及生产工程资料处理的效率，降低了订单处理过程中与客户工程师之间的沟通的成本，同时为产线的智能化改造打下了数字化基础。

第二，自动 CAM 资料处理程序基于底层的 AI 深度学习技术和海量的订单训练，大大提升了 CAM 工程师的作业效率，平均每个工程师单日处理订单数从 5-10 个提升至 200 个以上。

第三，智能拼版程序可以在无人值守的情况下让订单池中的订单实现最优板材利用率和最佳的投单节奏，不但可以让生产制造的原材料成本得到一定的优化，同时保证了产线生产的流畅性，提升了产线设备和人员的产出率。

第四，车间生产资料如：飞针、锣带、LDI、钻带等资料在拼版完成后实现了全自动化生成，让每个需要用到二级工程资料的车间不再需要现场配备专业的资料处理人员，降低了生产制造成本，也解决了生产现场可能因为资料未到位导致停产的问题，保障了生产的顺利进行。

2) 智能工厂

第一，生产制造过程管理。MES 制造系统结合 APS 高级排产、

QMS 质量管理、WMS 智能仓库等生产辅助系统，针对生产工艺流程、设备加工方式、生产人员进行灵活配置，实现了生产过程的全面数字化管控、全流程追溯，帮助制造企业提高生产效率、降低生产管理成本、提升产品的品质。

第二，数字车间管理。首先，在设备管理中，设备台账管理将生产设备数字化建档，生成统一且唯一身份标识，形成生产设备的系统化台账数据；设备点巡检，根据不同的设备类型和点巡检标准，自动生成点检任务，配合现场移动手持终端进行现场扫码进行点巡检信息填报，方便快捷，便于追溯；通过对不同设备的“服役”状态的动态监控，设置不同的保养策略，自动生成设备保养任务，及时提醒维保人员进行设备的保养，保证设备的运行稳定性，确保产品良率；设别故障报修，通过现场手持终端扫码填报故障信息，及时推送故障维修申请到对应维保人员，确保及时响应，及时解决。

其次，在能源管理中，通过对生产现场、办公场地的核心点位的水能、电能的布点监控，形成实时的水电数据积累，通过自主学习和历史数据分析，形成对日常水电消耗的全量报表和分析性报表，同时结合单位空间模型的产出，形成能耗产出比数据，为生产管理人员提供了能耗优化方案和底层数据支撑，有效帮助企业降低制造和日常能耗成本。

再者，在安全/环境管理中，EHS 系统帮助企业全面控制安全风险，减少各类事故、事件的发生，简化生产企业安环部门工作量，实现 EHS 管理的规范化。环境管理覆盖了生产现场的 5S 管理，同

时针对有特殊环境要求的车间，进行对应的传感器布点，实时监控包括温湿度、噪音、PM2.5 等环境要素的数据收集、分析，在异常环境数据指标产生时，及时推送异常警报到对应车间生产管理负责人，甚至在特定场景下，能够直接干预生产运作，停机整改，确保生产品质，同时也保障了生产制造产线工人的身体健康。

最后，在 SCADA 数采/DCS 远程控制中，通过传感器、打通数控机床的数据接口或者对产线加装物联网设备、员工手环 RFID、物料孔阵码等新型技术，实现了全生产线人机料法环的实时监控，是实现工厂全面数字化的基础。再次基础上应用数字孪生技术，实现对工厂的远程可视化管理以及生产现场的异常问题处理，大大提升管理的效率，让产能配置的合理性得到提升。



来源：杭州捷配信息科技有限公司

图 38 PCB 智能工厂整体解决方案

3) 智能装备

第一，工业机器人。针对生产过程中，车间之间的物料输送环

节、需要大范围使用人工操作以及部分作业环节对员工身体健康有一定影响的工位，通过引入 AGV 机器人、机械臂、复核型协作机器人替代人工的操作工作，有效提升企业内部物流的效率、降低企业用工的需求量、保障工人的身体健康。

第二，设备定制改造。对流程制造中相对分散的工序和车间，进行物理空间的设计改善和自动化连接设备的加装，实现原本不连续生产工序，形成连续的自动化产线；对离散制造中的部分设别进行加装自动上板机、履带传送装置等，形成对离散工序的相对连接，从而提高了生产的连续性和自动化程度。

（2）资源协同共享

1) 制造（订单）共享

捷配经过多年的电子商务平台的运营，承接了全球 90 多万的电子行业用户，每日订单超过 5000 个，这些订单通过平台的统一工程处理、统一合并，形成每天约 500 个左右的生产制造订单，通过平台对供应链端制造企业的产品定位与交期品质水平等一系列数据的分析与匹配，将订单分拨到最合适的制造商，同时通过对这些制造商产生的数字化、自动化技术的赋能，实现了对订单交付过程的有效保障。实现了柔性的平台+刚性的工厂想结合的新型生产组织模式，让整个产业更高效。

2) 区域产能共享

对于传统 PCB 制造企业，因为订单波动或者排产不合理导致的部分车间的产能设备的闲置，捷配搭建了一个区域性的产能共享

平台，每个加入平台的工厂可以将闲置的产能发布到该平台上，对应有这方面产能需求的企业也可以通过平台找到合适的单工序加工方，促成双面达成合作。一方面有效地让工厂闲置产能被充分利用起来，提高了产能发布方的经济收益，另一方面产能接收方也可以享受到更优惠的加工成本和更强的生产交付能力，实现了双赢。

3) 检测实验设备共享

大部分生产制造企业都有一部分价值相对较高，但是使用频率又比较低的检测设备或者实验设备，这部分设备如果仅仅企业内部使用，带来的折扣和维护成本相对较高，平台将建立一个线上虚拟的和物理实体空间的共享实验室，让企业可以通过该平台将部分检测实验设备对外开放使用，设备提供方获得了一部分的经济收益，设备使用方无需花费高昂的成本自己购置对应设备，实现互惠互利的结果。

4) 工业品集采服务

对于生产所需的常规物料，比如：常规规格覆铜板、油墨、干膜、铜球、药水等加入平台的企业可以通过平台统一向上游厂商进行集中采购，首先让各采购方享受到了价格上的折扣和更有利的付款方式，降低了日常经营的现金流的压力，其次在原材料市场波动较大的时期，能实现物料的稳定供应，保障生产的稳定运行。

对于生产过程中可能用到的非常规物料，尤其是冷门规格的覆铜板，如果企业完全没有备料，每次客户下单后再去向上游厂家进行物料采购，交期无法保证，降低了企业的市场竞争力。如果每个

工厂为了保障一定的交期，需要进行各种规格物料的备料，一旦订单的接入未达到预期计划，很可能导致这部分物料的呆滞甚至过期，给企业造成了经济损失。平台将联合上游的原材料厂家，通过收集各个工厂的物料需求，进行数据的分析与处理，按区域进行本地化的统一仓储备料，备料仓通过数字化平台开放给区域内生产企业，当企业需要用到对应物料的时候，可以通过线上平台向工业品超市进行临时采购。大大降低了生产企业的备料风险，减少了资金压力，同时可以保障各种规格订单的按时交付。

2. 价值提升

(1) 数字化改造让管理透明，信息传递更加智能、及时

截止目前为止捷配电子行业工业互联网平台已经接入了安徽、江西、广东等多个省份的电子制造企业，通过技术赋能帮助数十家企业实现了局部或者全面的数字化改造工作，同时通过 SAAS 化的技术架构，大大降低了企业的数字化改造成本和时间周期。数字化的管理让工厂管理成本大幅度下降，企业负责人、生产负责人可以随时随地通过系统全面了解产线的生产情况，及时做出决策与响应。

交期管理优化解决方案，使得工厂在生产的每个环节下的时间消耗可视化，未来预计停留时间动态显示，确保整个生产链条下的每个环节、每个人员都能实时看到订单执行时效要求，通过可视化手段，智能化绩效汇算，使得所有生产要素方目标一致，确保交期都是持续改善的，被链接工厂的交期准时率从原有的平均 70%上升到了 95%以上。

品质管理优化解决方案，提炼工厂在生产过程中影响品质的核心环节与要素，生产过程中的 IQC、IPQC 质检数据有效保留，动态分析，并且通过对化学处理环节的药水浓度分析，生产设备的辅助器具的更换、维修、保养的动态提示，确保了生产设备、辅助器材的高性能状态，大大提升了产品的交付品质，被链接工厂的品质报废率从平均 1.5%降到了 0.83%以下。

(2) 资源协同共享，实现降本增效

通过资源的协同共享，让产线的设备利用率提升 20%以上，检测实验设备利用率提高一倍以上，生产制造的原材料、人员、能耗成本综合下降 20%以上。

(二) 班德瑞

班德瑞是国内首个专注环保产业互联网 B2B 工业品供应链平台，是一家立足于中国市场的专业工业品数字供应链平台，致力于 MRO（维护、维修、进行）行业，为企业生产运营提供所需的各种辅料和易耗品，帮助客户持续降低工业用品的采购和管理成本，降本高效、物标质优、合规透明，达到更高客户满意度。目前，班德瑞已与包括来自产业链上下游的中国节能、光大国际、深能环保、上海城投、西门子、博世、固特异在内的上千家国内外领军企业达成合作。我们成功帮助客户实现了降低多品类小金额采购的隐性成本，提高运营效率，提高采购活动的透明化和可追溯等需求。

1. 产品介绍

（1）班德瑞自主研发 MRO 商城

班德瑞通过数字化转型，由传统的线下贸易商转型升级为专业的数字化供应链平台。班德瑞首先从数字化采购的基础入手，搭建了自营的电商平台。作为数字化采购的基本流转中心。同时建立了不同的采购对接方式，满足客户多样化需求。同时建立了专业的供应链管理系统。通过供应链的数字化运营，确保客户采购及时性及高效性。在不断通过数字化整合供应链的过程中，研发出专业的行业场景解决方案，根据客户的行业属性，对不同的业务场景进行改善，建立数字化商品精选中心。

（2）班德瑞数字化服务能力

班德瑞商城通过技术底层、智能业务中台的依托呈现可灵活配置的前端业务流程，商城提供开放平台能力来满足企业的接口调用，可与企业的自研采购商城/企业的办公管理软件进行集成。配置包括职能角色、审批流、客户物料、对账配置不等。

通过对接的方式完成企业的数字化流程闭环，打破系统分散、数据孤岛的问题。通过这个模式形成全链路线上可视的采购模式，让采购变得更高效、更透明。班德瑞将通过专业的系统服务能力、专业的商品满足能力以及专业的数字化技术应用能力来全方位保障用户的采购需求，达成客户满意度。通过班德瑞 MRO 商城，整合环保领域上游供应商的实时库存数据，提升供应链货期，确保正品行货与服务质量，为客户提供专业的采购数字化升级解决方案，为客户建立一个专业、优质、权威、快捷、可信赖的管理平台。



来源：上海班德瑞工业用品有限公司

图 39 班德瑞工业数字化产品的技术架构简述

2. 典型案例

(1) 案例一

某环保领域大型国企加速数字化转型的实践应用。班德瑞为某环保领域大型国企提供了数字化转型解决方案（实现从线下集采转为数字化平台形式采购），达到了如下效果：

首先，内外部系统无缝衔接，降本增效；通过 B-shop 形式采购全流程可视化，阳光透明；采购流程全线上化，数据可归集、流程可跟踪。其次，集采与零散物资均实现线上采购，大幅提升采购效率：各类物资均实现在线采购，极大提高客户内部的采购效率，实现总体降本 10%。

G集团从总部对全国分公司的全流程管理						
2020年	线下集采形式	2W+杂乱SKU	线下服务	传统邮件下单	服务机构进厂管理零散	产品规格不一
2021年	账户平台形式	3000+优化SKU	数字化转型服务	456次选型服务	315次紧急服务	9大类产品优化购买规范
2022年	高效运转	7000+SKU运用	未来提供哪些	高效下单	驻场服务	同品类产品优化方案
总体降本：10%						

来源：上海班德瑞工业用品有限公司

图 40 环保领域大型国企加速数字化转型的实践应用

（2）案例二

集团化企业实现分公司的数字化全流程管理。班德瑞为某环保领域大型国企提供了数字化企业分公司的全流程管理解决方案（统一物料规范、减少审批流程、产线数据分析、提供物资备货服务），达到了如下效果：第一，班德瑞提供定制化 B-shop 企业专属商城，根据按企业组织架构灵活设计采购审批流程；第二，通过项目对物料进行梳理，提供个性化品类和商品，设置协议商品价格，实现在线选货、在线审批；第三，采购数据分析，按项目区域统、物料品类以及使用品牌统计采购量。通过对数据的分析与提炼，对物料进行精细化管理；定期对长尾商品物料整合及专用件的整选，减少了常规供应商溯源的环节及压力；第四，专属数字化顾问提供全生命周期数字化升级咨询服务。

 <p>班德瑞通过 电商账户对接 覆盖 H集团全国200+MRO需求 真正实现 降本增效统一管理</p>	<p>❌ 需求杂乱 规格型号不明确 物料描述不清楚</p>	专业数据处理	<p>✅ 统一物料规范 可追根溯源</p>
	<p>❌ 独立采购 审批流程繁杂 价格无从参考</p>	流程管理系统	<p>✅ 减少审批流程 价格透明</p>
	<p>❌ 品牌杂乱 质量参差不齐</p>	后台检测 / 大数据分析	<p>✅ 产线数据 降本增效</p>
	<p>❌ 库存备货不足 疫情断货物资紧缺 部分停产</p>	备货服务	<p>✅ 提供物资 保证工厂正常运行</p>

来源：上海班德瑞工业用品有限公司

图 41 集团化企业如何实现分公司的全流程管理

(三) 用友

用友创立于 1988 年，是全球领先的企业云服务与软件提供商，持续致力于用创想与技术推动商业和社会进步。当前，用友通过构建和运行全球领先的商业创新平台——用友 BIP，服务企业数智化转型和商业创新，成就千万数智企业。

用友 BIP 从平台技术、应用架构到场景服务、生态体系，实现全面突破创新，达到全球领先水平，让企业云服务随需而用，让数智价值无处不在，让商业创新如此便捷，为企业、产业、经济和社会带来独特价值，铸就数字经济时代企业数智化的“大国重器”。

用友 BIP 聚焦数智平台及智能财务、数字人力、敏捷供应链、智慧采购、智能制造、数字营销、数智研发、数字项目、数智资产、协同办公等核心领域，为客户提供数字化、智能化、高弹性、安全可靠、平台化、生态化、全球化和社会化的企业云服务产品与解决方案，助力企业高质量发展。

1. 产品介绍

用友 U9 cloud 聚焦中型和中大型制造企业，通过个性化定制、网络化协同、智能化生产、项目化制造、精细化成本、层级化考核、一体化应用、智慧化分析、全球化运营和服务化转型等十大核心业务场景，为制造企业重塑数智化核心竞争力，赋能组织变革和商业创新，成为制造业高效增长的数智力量。

用友 U9 cloud 是一款云 ERP 产品，主要聚焦制造业中的离散制造企业的智能制造业务，重点服务装备制造业、电子行业、机械行业（加工）、汽车及零部件行业、新材料、家居行业和军工制造企业。以业务为基础触发整个研发、生产、采购、物流、分销、财务的同步，对于多集团、多公司、多分销点、多制造厂的国内或国际的经营环境，U9 cloud 将很容易帮助客户扩展其组织多元化运作，提升企业的竞争力。

2. 典型案例

（1）项目背景

科华控股创办于 2002 年，是涡轮增压器关键零部件全球制造商，是细分行业头部企业，国内第一，国际第三，公司 2018 年成为同行业首家上交所主板上市企业，股票代码 603161；近五年，公司实现连续的、大幅的营业收入增长，年复合增长率达 20%以上。关键客户包括全球排名前三的涡轮增压器制造巨头盖瑞特、博格华纳、三菱重工（合计市场占有率 80%）产品大量出口美、欧、日、韩等地区，产品出口额占公司总销售的 50%以上。

科华的节能汽车涡轮增压系统关键零部件智能制造工厂项目

的开发，主要是：通过智能工厂的总体设计，为智能制造工厂提供指导方向；通过三维数字化设计工艺仿真缩短产品研发周期，制定产品的铸造、加工和检测标准；通过提高零部件加工精度、在线实时监控测量、数据追溯和工序防错来降低产品不良品率，提高产品质量；通过提升生产线设备尤其是关键设备的自动化、智能化程度，采用智能物流仓储、能源监控系统，提高生产效率及能源利用率；通过 MES、PLM、ERP 相互集成，实现信息互联互通，实现生产过程人、机、料、法、环、测的互联互通；通过人工智能技术和大数据分析系统的应用，实现产品设计、生产工艺以及制造管理的持续优化。

项目建设内容共有熔炼工部、造型制芯工部、浇注工部、后处理工部、机加工工部、检测工部等 6 大关键工部，其中本项目建设内容主要围绕智能工厂能力提升部分，主要包括快速制造中心、智能物流仓储系统的建设，网络系统架构升级、互联网大数据分析系统建设、MES、PLM、ERP 系统的高效协同与集成等。

（2）解决方案

为实现生产计划的科学安排、有效执行、实施管控，提升作业人员作业效率、细化作业人员考核绩效，对物料投入进行数字化管控，对工艺和品质进行在线化管控，最终实现工厂的智能化管控，公司以用友公司 U9 cloud、MES 系统、AIoT 工业数据平台为技术支撑搭建智能化运营平台，通过一体化技术平台实现数据同步和业务联通。

用友 AIoT: 通过内置工业通信协议,实现各类数控机床、PLC、铸造线控制系统的数据采集,对数据通过规则引擎进行清洗、处理,并进行工业大数据存储,结合业务系统需要进行数据发布、可视化看板发布,是智能运营平台的底层支撑。

用友 U9C 智能工厂 (MES): 主要承担现场作业的工序建模、生产工序级计划的排程、任务下发的任务,并全程管控生产执行、生产保障、生产资源和生产质量以及设备巡检、设备维护,是工厂智能运营活动中,现场操作级别的任务定义、分派、执行、反馈系统,为运营平台提供产线维度、业务维度的数据及分析报告,通过对每个生产环节的数据分析,推导出通往下一环节的概况,从根本上解决自动化排程薄弱、生产进度不透明等痛点,实现闭环式数据资产化和精益化生产。

用友 U9 cloud: 主要承担工厂组织建模、销售订单、生产订单的合并拆分,阿米巴考核模型的设置及组织绩效核算、设备现场管理,是智能运营平台的业务源和透明绩效、执行分析的数据支撑来源。

基于智能化运营平台,我们开发出 39 个基于 5G 网络的移动工业 APP,机台派工、电炉工作台、称重工作台、光谱分析、产线报工、委外发料、成品入库,甚至定时巡检和退料接收等传统人工程序,都通过 PAD 上安装的 APP 进行移动操作,减少人工点收、拣货、录入的差错,降低劳动强度,减少查勘次数,实现产品全过程质量追溯。

（3）价值提升

在隐形效益上，项目实施后可满足企业快速增长的产能需求，实现短流程开发、高效制造和精密成形，显著提升成品率、生产效率、新品开发速度、产品质量和一致性，降低综合能耗和运营成本，可满足客户多品种、小批量、规模化的订单需求和零缺陷、快交付的供货要求，提高客户满意程度，赢得更多客户订单，显著提升综合竞争力，扩大市场份额。项目投产后，平均年销售收入预计可达 5.4 亿元，平均年利润预计可达 6505 万元，能够为企业带来较好的经济效益。

此外，本项目通过设备、产线、信息系统的高效集成，为节能汽车涡轮增压器零部件行业提供标准化的解决方案；解决尺寸精度差、漏加工等困扰国内汽车涡轮增压器零部件行业的难点问题，有助于提升整个国内涡轮增压器零部件行业的质量问题；包含涡轮增压器零部件尺寸、外观等的 100% 在线检测，为整个装备制造业在线监测方面提供了参考和借鉴范本，给整个汽车及零部件行业智能工厂的发展形成了良好的示范效应，不仅符合国家一贯的节能减排政策要求，更是全面提升我国自主研发汽车涡轮增压器零部件产品的国际竞争能力，带动国产汽车零部件产业向高质量、高端方向发展的重要举措。

在显性效益上，通过设备自动化和单件流生产模式，量产件的生产节拍由 150 秒缩短为 110 秒，生产效率提升 28%；通过快速设计和工艺数据库积累优化，同时应用 3D 打印快速制造技术，新品

开发周期由 60 天降至 40 天，开发周期缩短 30%；通过工艺设计仿真和试验验证以及智能检测和生产装备的使用，产品不良品率降低 20%；通过节能型装备的应用以及对用能情况的监控，辅以光伏电站发电和热回收利用，能源利用率提高 10%；通过数控机床、柔性装配装备、在线检测和智能上下料系统等协同集成以及缩短存货周期、减少资金成本，运营成本比项目实施前降低 20%；通过设备的集中监控、精准运维和优化增效，设备综合效率提升到 70%。

此外，计划排产上线后，MPS/MRP/手工相结合，缩短了计划排产时间，计划排产率提升 50%，订单转换时间下降 50%；MES 上线后，通过实时扫码采集和物流看板驱动配送，差错率降低 90%，开单传递时间减少 50%；AIoT 上线后，实时监控设备状态，秒级报警反馈，为设备维修争取了时间，故障发生到维修结束的时间缩短到 1-2 天，提高效率 60%，设备预警降低故障发生率 50%，故障处理及时率提升 50%，维护成本下降 15%。

(四) 华磊迅拓

深圳市华磊迅拓科技有限公司(OrBit Systems Inc.)是国家级高新技术企业、专精特新企业以及两化融合企业，同时是中国最具成长性的制造执行系统(MES)解决方案供应商，公司成立于 2005 年，注册 1000 万，拥有 110 件著作权及专利，拥有 200+员工，其中研发人员占 35%，运营总部位于深圳龙华国际创新中心科技孵化基地汇德大厦，2019 年新成立了苏州分公司，全国部署交付中心，业务遍布海内外制造企业。我们的定位是全球领先的工业互联网与智

能制造核心运营管理平台厂商，帮助制造企业落地智能制造战略，用数字化技术驱动制造业务透明、协同、敏捷地变革与创新。

1. 产品介绍

华磊迅拓 OrBit-MES。OrBit-MES 系统即企业制造执行系统，是深圳市华磊迅拓科技有限公司自主研发，构建于中国自有知识产权的基础业务平台之上，符合 MESA/ISA-S95 标准，基于批次过程控制，以及企业建模技术，是企业内部物流、生产体系、品质部门的保障系统，为企业实现 JIT 拉动模式、Lean 精益生产、6 Sigma-TQM 全面质量管理、为企业迈进“工业 4.0”打下坚实的基础。

OrBit-MES 系统涵盖了仓储物流、质量控制与监控、制程管控、设备与资产管理、任务排程、数据采集监控、云端 BI 可视化以及与其他信息化系统集成等多个模块，并且通过全新的可视化 UI 界面呈现，基于微服务架构模式，采用 WebAPI 的数据通讯、支持 https 传输与 AES 数据加密方式，数据压缩能力比一般性网络传输协议快 50 倍以上，可支持实时接入 3000+用户以上，并且支持云端部署。OrBit-MES 企业制造执行系统能够有效地优化企业的生产管理模式，强化过程管理和控制，为企业生产创造巨大的价值。



来源：深圳市华磊迅拓科技有限公司

图 42 MES 工业互联网智能制造架构图

OrBit-MES 企业制造执行系统软件，提供了高效的接口调用能力，可以与主流 ERP/PLM/PDM/OA/HR/SRM/CRM 等系统相集成，打通了企业微信、钉钉、飞书等，同时也为其他系统提供了基于 WebAPI 丰富的接口，以实现数据回传，为企业的数字化建设提供了坚实的基础，打破了企业的数据孤岛，实时追溯，提高生产品质和效率，打造一座数字化透明工厂。

OrBit-MES/MOM 数字化工厂应用场景



来源：深圳市华磊迅拓科技有限公司

图 43 OrBit-MES/MOM 数字化工厂应用场景

2. 典型案例

华磊迅拓为深圳市兆驰股份有限公司提供了 OrBit-MES 智能制造解决方案。

(1) 解决方案

兆驰股份 OrBit-MES 制造执行系统项目，整体的目标是建立适合生产需求的、先进的、实用的智能制造 MES 系统，功能覆盖现有的基板（SMT、AI、DIP、SKD/CKD）、AV 总装 TV 总装、TV SKD/CKD 等生产单元。以产品的全程生产作为管理的重点，而质量管理贯穿整个产线。

智能制造 MES 系统总体功能分为产品编码管理、订单管理、生产管理、条码管理、工艺管理、质量管理、现场作业管理、物流跟踪、仓储及发运管理等模块。

智能制造 MES 系统通过互联网现已实现了来料管理、库存管理、工作中心和设备管理、生产过程控制、制造品质数据可追溯等一系列功能，并与 SAP、SRM、OA、HR、关务系统打通，实现流程拉通、数据流转和核心业务系统上云，打破信息孤岛情况，实现信息的快捷流通和共享。各种数据交换接口多达 50 多个，库存管理实现了物料批号管理，合格来料自动入库，工单扫码发料，物料周期管控，先进先出，物料储位管理，工单完工自动入库，PDA 扫码出货时提交 SAP，出货报盘文件自动生成，PDA 扫码借机/还

机，RFID 装栈，RFID 入库，PDA 在线盘点，PDA 离线盘点等功能。生产过程控制实现了工单上料检查，工艺流程控制，测试参数化控制，品质检验全过程记录，工作中心产能、人、机、配置管控，机器设备的点检、保养、使用状态数据化管理、生产数据、设备和工具状态、生产异常报告，实时采集至 MES 系统等功能。已为企业打造了一个扎实、可靠、全面、可行的制造协同管理平台。

为企业实现智能化制造，建立了规范化、集成化的生产信息管理平台，用集成化管理思想，在企业优化流程管控、建立数字化生产车间，提升企业生产效率。通过建设 OrBit-MES，和 SRM 系统与 ERP、OA 等系统无缝对接，将企业上层生产计划系统与车间下层的设备控制系统联系起来，填补了上层与下层之间的鸿沟，打通工厂信息通道，实现上下信息的及时集成共享。

（2）价值提升

OrBit-MES 项目覆盖了兆驰股份的全部制造过程，包括设计技术、生产计划安排、生产过程及设备管理、工艺管理及异常报警等核心活动，涉及了生产过程中的信息流通及设备自动化、智能化操作。

MES 实施上线后带来的价值：

- 使产品 UPPH（每人每小时产能）从 1.81 提升到 2.32，月度环比提升 34%，年度整体水平平均提升 12%；明显提高产品良率；
- 提高设计与制作之间的信息反映速度，减少人员投入，能源利用率相对比之前提高 10%以上；

- 新产品试产合格率从 85%提升至 92%，新产品模块重用率从 55%提升至 70%；
- 按期交货率从 90%提升至 98%；
- 实现电子设计平台一体化，产品质量合格率 97%，按期交货率 98%，以较优的表现得到客户认同；
- 建立了生产过程数据采集和分析系统，提升生产效率和品质，加快新品上市时间，抢占市场份额，新品研制周期缩短率 16%以上；
- 极大提高企业创新能力和市场竞争能力，提高企业盈利能力，实现年销售收入 20 亿元以上，销售增长 80%以上，创新技术专利申请增长 25%以上；
- 实现数据及时、高效分享，提高产品设计效率，减少设计差异；设计成本降低了 30%，库存资金占用降低了 20%，资金周转次数增加了 30%，设计周期减少了 25%，出货时间减少了 20%，工作效率提升了 30%，能源利用率增加了 10%。

(五) 蓝卓

蓝卓数字科技有限公司（简称“蓝卓”）是一家专注于工业操作系统技术平台与解决方案的科技公司，致力于将数字科技全面融入企业生产、管理与服务，推动产业变革，让所有行业都能从数字平台中获益，让生产更智能、供应链更高效。

1. 产品介绍

supOS 作为蓝卓自主研发的国内首个自主知识产权的工业操

作系统，从技术的角度来讲，supOS 是基于工业企业数字化转型所需要的共性需求而构建的开放式平台。依托高效的设备集成模块、强大的数据存储和处理引擎、开放的开发环境工具和组件化的工业知识微服务，工业操作系统向下连接海量工业设备、仪器、仪表、产品，为各类设备提供统一的接口，实现不同设备之间的互联互通；向上连接各类工业应用软件，将企业内部的生产数据、运营数据、管理数据汇集起来，是链接海量工业设备和各类应用软件的桥梁。通过工业操作系统，可以使企业的设备控制、生产管理、运营管理从分散式管理走向一站式集中管理，从而有效解决企业数据孤岛问题，实现数据的有效融合，让海量数据为企业创造新的价值。

如下图所示，蓝卓 supOS 通过三层架构打造“平台+APPs”模式。底层物联套件主要负责边缘端的数据采集和控制；中间层则是 supOS 工业操作系统平台，主要负责物联套件的设备接入、对象化模型的建模和组织、数据存储和计算处理、可视化的数据分析和工业 APP 开发、大数据分析和人工智能算法应用等等；而顶层则是各种智能工业 APP 的生态，与合作伙伴一起构建面向特定场景的智能工业 APP，从而形成一个个行业解决方案。supOS 的核心价值体现在把国内的各种工业服务能力汇聚在一起形成一个整体提供给工业企业，这种生态模式使得工业企业可以通过 supOS 获得一揽子式的整体解决方案。



来源：蓝卓数字科技有限公司

图 44 supOS 工业操作系统架构

从产品上看，蓝卓 supOS 已迭代至 4.0。该版本强化了工厂操作系统在连接、APP 低代码快速开发、多源异构 APP 统一运行平台、APP 应用商店、工业大数据和人工智能、机理和训练模型融合等核心能力，可持续提高工厂操作系统性能，实现基于平台的新型未来工厂建设。同时，supOS4.0 版本进一步完善了产品矩阵，推出适用于集团企业产品版本，提供多租户、总分厂级联、多组织等多种模式，满足集团企业异地办厂、集中管控等需求。

supOS4.0 版本新一代工业操作系统的核心，是为工厂提供数字化转型服务，该版本抓住了企业最看重的三个关键词：成本、质量、效益。4.0 版本的特性有“4 个度”，一是设备连接的深度，边缘功能越发强大；二是工业 PaaS 厚度，低代码开发平台和数据治理平台进一步完善；三是生态活跃度，开源开放的生态正在建成；四是应用的深度，从原来的面向流程行业的企业级平台到现在面向

中小企业的 N+X 模式以及面向块状经济的行业级平台，应用进一步拓展。

2. 典型案例

(1) 项目背景

广西华谊能化作为华谊钦州化工新材料一体化基地一期项目，践行“数字华谊”战略，持续推进示范标杆企业建设，努力打造“绿色、低碳、智能”的数字化灯塔工厂，强化“业务场景+解决方案”双轮驱动，着力提升精细化管理水平。借鉴过去集团建设经验，广西华谊智能工厂最终以数字化交付为基础，依托钦州基地数据分中心，采用“数据+supOS 工业互联网平台+智能工业 APP”系统架构，聚焦核心业务场景，提升数字化生产管理、供应链管理和卓越运营管理能力，建设有生产执行、能源管理、质量管理、设备管理、安全环保、ERP、仓储管理、物流管理、腐蚀在线监测、大机组在线监测等系统，全面服务于企业生产运营各个环节。

在项目前，服务企业面临如下痛点：一是统一管理及数字化运营难，当前已建系统孤岛现象严重，分发到二级工厂集成难度大；二是工厂建设复制难，一厂建设成果难以再其他厂快速复制推广；三是多业务系统，数据价值难挖掘，可视化集中统一指挥、业务数据智能化应用。

(2) 解决方案

广西华谊能化基于“数据+supOS 工业互联网平台+智能工业 APP”新模式、个性化智能工厂门户，接入 8000 多设备，采集 62000

多点，为全厂自领导层至车间装置近 800 多位用户，提供生产、设备、质量、环保、安全各域应用 APP81 个，投用页面 1000 多个，可选组件 67 个；如过程监控、指标管理、应急联动专题图、巡检管理、物料平衡、质量管理等原生 APP54 个,集团 OA、集团自建应用、统一身份认证、仓储物流、大机组等第三方系统集成 22 个，大屏管理、综合管理驾驶舱、移动应用等个性化开发应用 15 个；同时，通过大数据模块挖掘生产过程异常预警—醋酸产品水含量监测、换热器性能预测、设备机泵预测、醋酸反应器温度预测、SO2 回收环保监测模型等多个场景。



来源：蓝卓数字科技有限公司

图 45 基于 supOS 数字化底座的智能工厂数据流向

(3) 价值提升

广西华谊能化智能工厂项目以数字化交付为基础，采用“数据+工业操作系统+工业智能 APP”新模式，通过唯一技术底座、数据资产化、数据互联互通、生产过程可视化、报表自动化、掌上工

厂(移动办公)、集中管控/指挥等手段逐步协助实现经营管理智慧化依托,打通全流程数据链通道,建立联融共赢的智慧经营生态平台,实现生产管理精准高效、设备管理长效稳定、安全环保可靠受控、仓储物流智能协同、决策支持科学合理。

在经济效益方面,广西华谊能化于 2021 年 6 月 15 日一次投料试车成功,2021 年产值 29 亿元,利润 1.5 亿元,产品时效利润率提升 5%,全部达产后年产值约 80 亿元,依托企业的智能化装备生产、数字化驱动运营实现“当年建成、当年投产、当年盈利”。

在行业地位方面,2020 年 12 月,广西华谊能化获评“数字广西建设标杆-大数据与工业深度融合重点示范项目”;2022 年 6 月,入选广西智能工厂示范企业;2022 年 8 月,成功入选国家“智能制造标准应用试点项目”,为《智能制造能力成熟度模型》(GB/T 39116-2020)等国家标准和规范提供企业应用过程中的经验体会,为国家和行业标准规范的优化修订添砖加瓦。2022 年 9 月,正式通过国家智能制造能力成熟度四级评估。

中国信息通信研究院 铸基计划-中国信通院

高质量数字化转型推进行动

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

网址：www.caict.ac.cn

邮箱：nbd@caict.ac.cn

