

# 工业互联网白皮书

中国企业数字化联盟出品

肖鹏 主编

2021

# 工业互联网白皮书

## 2021

主编：肖 鹏

原顺丰商业副总裁/CTO

原新奥集团信息中心副总经理

信众智数字化转型专家

中国人民大学商学院EMBA/MBA课程教授

## 中国企业数字化联盟简介

中国企业数字化联盟是在自愿、平等、互利、协作的基础上，以国内大型企业为主兼顾一些著名企业数字化解决方案提供商及相关的企、事业单位、社团组织、高等院校、科研院所等自愿组成的跨行业、开放性、非盈利性社会组织。

中国企业数字化联盟旨在推进中国企业数字化转型，推动数字驱动的创新，促进相关主体之间的交流和深度合作，促进供需对接和知识共享，形成优势互补，培育企业新时代的核心竞争力，切实解决企业数字化转型过程的实际问题。

中国企业数字化联盟立足于搭建企业数字化转型的合作交流与促进平台，聚集中国企业尤其是大型央企和信息通信界的骨干力量及相关机构，服务企业数字化，支撑政府决策，推进企业数字化转型和新时代企业核心竞争力的培育，为实施数字中国和推动“互联网+”发展提供支撑。

## 中国企业数字化联盟组织架构

理事长：雷万云

副理事长：毛磊

秘书长：范艇

副秘书长：曹建菊

### 中国企业数字化联盟专家委员会部分专家：

中国石油	信息化管理部副总经理	刘顺春
中国石油化工集团公司	信息部副总经理	李剑峰
国家能源集团	信息管理部总经理	丁涛
中国航空集团公司	信息管理部副总经理	吴国华
中国东方航空集团公司	信息部副总经理	李福娟
中国中纺集团公司	信息部总经理	骆学农
招商局集团	北京总部数字经济中心总经理	王百谦
中国铁建	信息管理部总经理	曾宗根
中国通用技术集团	风控信息总部总经理助理	田宇
蒙牛乳业（集团）	助理副总裁 / CIO	张决
中国五矿集团有限公司	信息化管理部总经理	闫晓青
中海油	信息管理部副总经理	陈溯
招商局集团	信息技术总监	吴沂
商务部中国电子商务中心	政府业务部副总经理	郑小军
国家电网有限公司	客户服务中心董事长	吴杏平
中国气象局	信息中心总工程师	沈文海

中国铝业集团有限公司	信息中心副主任	文欣荣
中国铁路工程集团	科技与信息化部副总经理	高峰
中国中车集团有限公司	信息化管理部部长	王顺强
中国有色矿业 生态环境部	信息中心副总经理	丁福志
中煤能源集团	信息中心副主任	杨子江
中国能源建设集团	信息化管理部总经理	王乐
中国铁路物资集团	原科技信息部主任	王聪生
中国建设科技有限公司	信息中心主任	郑加齐
中国银行	信息化办公室主任	李蜀
徐工科技	原数据中心副总经理	杨志国
重庆长安汽车	总经理	张启亮
鲁花集团	总裁助理	胡朝晖
北京市资源管理中心	CIO	姜波
中国电力建设股份	副主任	穆勇
中国检验认证集团	信息化管理部主任	吴张建
国药集团	信息中心主任	陈文宇
中交信有限责任公司	信息中心副主任	李懿凌
	常务副总经理	王静

# CONTENTS



1. 工业互联网概况 .....	1
1.1 工业互联网的概念及产生背景 .....	1
1.2 各国工业互联网发展概况 .....	3
1.3 我国工业互联网发展概况 .....	6
2. 工业互联网的体系架构 .....	9
2.1 工业互联网体系架构所依赖的标准 .....	9
2.2 美国工业互联网参考架构 IIRA .....	10
2.3 德国工业互联网参考架构 RAMI4.0 .....	11
2.4 日本工业价值链参考模型 (IVRA) .....	12
2.5 中国工业互联网体系架构 .....	12
2.6 工业互联网平台参考架构 .....	16
2.7 智能制造体系框架 .....	17
3. 工业互联网驱动的工业企业数字化转型 .....	18
3.1 企业数字化转型的内涵和框架 .....	18
3.2 工业互联网与数字化转型的关系 .....	24
3.3 工业互联网应用路径和模式 .....	25
4. 企业实施工业互联网的挑战 .....	26
4.1 缺乏顶层规划 .....	26
4.2 难以找到应用场景 .....	26
4.3 投资回报周期长 .....	27
4.4 工业机理复杂 .....	27
4.5 标准体系不完善 .....	28

# CONTENTS

5. 企业工业互联网体系搭建 .....	29
5.1 做好顶层规划 .....	29
5.2 工业互联网平台架构 .....	35
5.3 工业互联网网络体系 .....	43
5.4 工业互联网安全体系 .....	48
5.5 工业互联网数据体系 .....	51
5.6 工业互联网平台的部署框架 .....	52
6. 工业互联网发展趋势与展望 .....	53
6.1 工业互联网网络发展展望 .....	53
6.2 工业互联网安全发展展望 .....	54
6.3 工业互联网平台发展展望 .....	54
7. 工业互联网应用案例介绍 .....	55
7.1 案例一：三一重工18号智能工厂 .....	55
7.2 案例二：基于工业互联网平台的工程机械UBI车险 .....	57
7.3 案例三：宝钢股份热轧厂利用工业互联网对轧机振动监测和抑制 .....	59
7.4 案例四：海尔中德冰箱互联工厂 .....	61
7.5 案例五：天瑞水泥生产工艺的智能控制案例 .....	63
7.6 案例六：四川品胜电子标识解析应用案例 .....	66
参考文献 .....	72
版权声明 .....	73



# 工业互联网概况

## 1.1 工业互联网的概念及产生背景

### 1.1.1 第四次工业革命产生的背景

德国是欧洲乃至全球制造业发达的经济体，然而在工业化时代，德国制造业面临一系列的内外挑战。来自外部的挑战是短期内面临出口下滑，中期内感受产业升级的压力，长期面对双重竞争压力。来自内部的挑战是一方面面临劳动力成本上升压力，另一方面德国的创新能力有待加强，再者是制造业比重在下滑。基于这些因素德国于2011年在汉诺威工业博览会上首次提出了“第四次工业革命”概念。2012年10月，由博世有限公司的德斯及德国科学院的卡格曼等人组成工业4.0工作小组，向德国联邦政府提出了工业4.0的实施建议。在2013年4月8日的汉诺工业博览会上，工业4.0工作组发表了名为《保障德国制造业的未来：关于实施“工业4.0”战略的建议》的报告，进而于2013年12月19日由德国电气电子和信息技术协会细化为“工业4.0”标准化路线图。“工业4.0”可以简单概括为“一个核心”、“两重战略”、“三大集成”和“八项举措”。德国政府、产业界及学术界等纷纷将工业4.0列为未来的战略目标，这标志着第四次工业革命拉开了序幕。

各个国家对第四次工业革命的定義不同，德国将其命名为“工业4.0”，其它欧洲国家及中国也采用这一概念；美国把它称之为“再工业化”；日本则称为“工业智能化”。

第一次工业革命使人类进入了“蒸汽时代”、第二次工业革命使人类迈入了“电气时代”、第三次工业革命则是“信息时代”，第四次工业革命则是开启了万物互联及全面智能化时代。



为应对第四次工业革命浪潮，各个国家都制订了自己的国家战略。自金融危机后，美国开始意识到“脱实向虚”会使产业空心化，于是美国总统奥巴马于2010年签署了《美国制造业促进法案》，提出运用数字制造和人工智能等未来科技重构美国的制造业，又先后发布了《重振制造业政策框架》、《先进制造伙伴计划》（AMP）。2013年2月，美国执行办公室国家科技委员会发布了“先进制造业国家战略计划”研究报告。日本也推出了“再兴战略”，立足于智能机器人、传感器、数据存储及计算能力的突破，通过工业互联网将供应链、生产过程和仓储物流智能连接起来。韩国制订“新增长动力规划”；法国也提出了“新工业法国”计划。

我国于2015年5月发布了《中国制造2025》制造强国十年行动纲领，提出了“**信息化与工业化深度融合**”战略。立足国情，立足现实，力争通过“三步走”实现制造强国的战略目标。第一步力争用十年时间，迈入制造强国行列。到2025年，制造业整体素质大幅提升，创新能力显著增强，全员劳动生产率明显提高，两化（工业化和信息化）融合迈上新台阶。为贯彻落实《国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》和《中国制造2025》，工业和信息化部、财政部联合编制了《智能制造发展规划（2016—2020年）》。

## 1.1.2 工业互联网概念及产生背景

为应对风起云涌的“第四次工业革命”浪潮，GE于2011年发布了《工业互联网打破智慧与机器的边界》白皮书，首次提出了工业互联网概念。它将工业互联网定义为一个开放、全球化的，将人、数据和机器连接起来网络。其核心三要素包括智能设备、先进的数据分析工具、以及人与设备的交互接口。随后美国政府成立了工业互联网联盟（IIC）。为了贯穿落实《中国制造2025》，2016年在工业和信息化部的领导下成立了工业互联网产业联盟（AII）。按照中国工业互联网产业联盟的定义“**工业互联网**”是新一代信息技术与工业系统全方位深度融合所形成的产业和应用生态，是工业智能化发展的关键综合信息基础设施。其本质是以机器、原材料、控制系统、信息系统、产品以及人之间的网络互联为基础，通过对工业数据的全面深度感知、实时传输交换、快速计算处理和高级建模分析，实现智能控制、运营优化和生产组织变革。网络，数据及安全构成了工业互联网三大体系，其中网络是基础，数据是核心，安全是保障。

工业互联网平台本质是通过工业互联网网络采集海量工业数据，并提供数据存储、管理、呈现、分析、建模及应用开发环境，汇聚制造企业及第三方开发者，开发出覆盖产品全生命周期的业务及创新性应用，以提升资源配置效率，推动工业企业的高质量发展。工业互联网平台基于网络向下接入各种工业设备、产品及服务，并为海量工业数据提供自由流转的平台支撑，是链接工业全要素、全价值链、全产业链的枢纽，是推动制造资源高效配置的核心。

工业互联网平台由边缘层、通用 IaaS 层、通用 PaaS 层、工业 PaaS 层及 SaaS 层构成。边缘层是基础，向下接入工业设备实现数据的采集与处理。工业 PaaS 层是核心，基于通用 PaaS 并融合多种创新功能，将工业机理沉淀为模型，实现数据的深度分析并为 SaaS 层提供开发环境，是平台核心能力的集中体现。SaaS 层是关键，主要提供覆盖不同行业，不同垂直领域的业务应用及创新性应用，形成工业互联网平台的最终价值。

智能制造与工业互联网有着紧密的联系，智能制造的实现主要依托两方面的基础能力。一是工业制造技术，包括先进装备、先进的材料和先进的工艺等，是决定制造边界与制造能力的根本；二是工业互联网，包括智能传感控制软硬件、新型工业网络、工业大数据平台等综合信息技术要素，是充分发挥工业装备、工艺和材料潜能，提高生产效率、优化资源配置效率、创造差异化产品和实现服务增值的关键。因此，工业互联网是智能制造的关键基础，为其变革提供了必须的共性基础设施和能力，同时也可以用于支撑其它产业的智能化发展。

工业互联网是工业企业数字化转型的核心生产要素，是第四次工业革命的核心驱动力。

## 1.2 各国工业互联网发展概况

### 1.2.1 北美工业互联网发展概况

随着工业互联网产业发展，同时在美国将制造业作为长远发展战略及出台一系列支持政策的背景下。GE、AT&T、思科和 IBM 等企业成立工业互联网联盟，推动相关标准的制订及试点。因此美国成为引领全球工业互联网行业发展方向，市场规模也领先其他地区。根据 CCID 数据显示，2019 年北美地区工业互联网实现 2996.4 亿美元的市场规模。

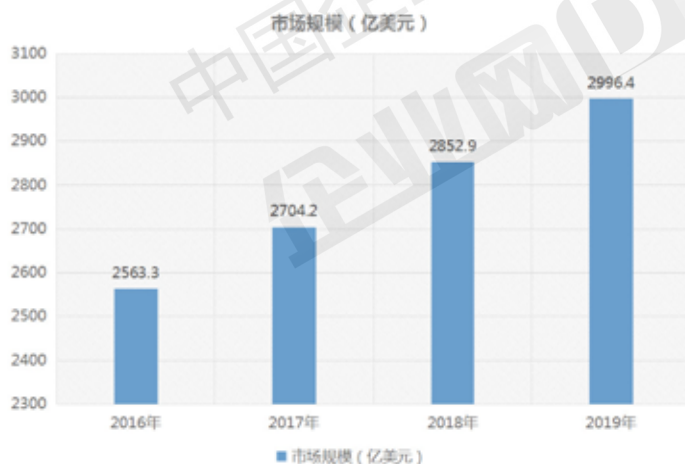


图 1. 2016-2019 年北美地区工业互联网行业市场规模统计情况

以龙头企业 GE 为例，目前 GE 集团经营模式主要采用更多变数界定企业优势和市场吸引力，这类模式可以使得企业避免盲目投资追求成长，提高企业利润率和市场占有率。

销售渠道方面，GE 集团经营范围较广，其销售覆盖率较高，就工业互联网行业平台而言目前已超过 22000 名软件开发者和 400 名合作伙伴使用该平台。

### 1.2.2 欧洲工业互联网发展概况

近年欧洲工业互联网市场快速崛起，德国、法国、英国等国家纷纷出台了一系列相关政策或变革规划来带动行业发展，例如德国政府基于机械、电子、自动控制和工业管理软件等方面的优势，推出“工业 4.0”国家计划等。欧洲工业互联网市场规模仅次于北美地区，2019 年达到 2607.1 亿美元。



图 2. 2016-2019 年欧洲地区工业互联网行业市场规模统计情况

欧洲地区工业互联网市场竞争激烈，西门子、博世、ABB、SAP 等凭借自身在制造业的基础优势亦进展迅速，龙头效果非常显著。西门子 MindSphere 平台在全球范围内建立了 20 个数字化客户应用中心；已有约 100 万台设备和系统实现互联，2018 年约 125 万；ABB 的 ABB Ability 平台在中国有 500 多万台互联设备及 8000 套控制系统作为基础，2017 年 6 月正式推出工业互联网平台 ABB Ability。

工业互联网平台是双边或者多边平台，平台上角色越多，管理越复杂，并且制造型企业往往要在多个使用场景中操作多种软件，极其麻烦。因此，2019 年西门子开发出“工业互联网平台”+“低代码编程工具”+“灵活的开发者生态”这一组合，极大地解决了这些问题。

同时，随着生态系统发展，西门子摸索了一套与合作伙伴有效协同的方法，例如西门子通过与 IBM 的资产管理软件“MAXIMO”连接，实现了卡车运营时间和可用性的提升，以及运营成本的降低。从数据上来看，MindSphere 在遍布 17 个国家的 20 个垂直行业取得了应用，吸引了超过 1000 名解决方案开发者、数据科学家和工程师，在全球工业互联网市场份额占比位列前列。

### 1.2.3 亚太地区工业互联网发展概况

亚太地区工业互联网行业发展迅速。目前，日本、韩国工业互联网市场规模较为稳定，印度和东南亚成为市场增长点，而我国工业互联网行业虽然起步时间较晚，但是近年在国家政策支持下行业发展迅速，比如 2018 年工信部成立工业互联网专项工作组，工信部长苗圩担任组长，后续又推出一系列政策，启动实施工业互联网的三年（2018~2020）行动计划，未来市场需求潜力较大。根据 CCID 数据显示，2019 年亚太地区工业互联网市场规模达到 2412.3 亿美元。



图 3. 2016-2019 年亚太地区工业互联网行业市场规模统计情况

## 1.3 我国工业互联网发展概况

### 1.3.1 我国工业互联网产业经济发展概况

据中国信通院发布的《工业互联网产业经济发展报告（2020年）》，2018年、2019年我国工业互联网产业经济总体规模分别为1.42万亿、2.13万亿，预计2020年为3.1万亿，同比将增长47.9%。占数字经济的比重分别达到4.5%、5.9%，对数字经济增长的贡献14.1%、15.6%，预计2020年为7.5%，对数字经济增长的贡献将超过6%。占GDP的比重分别为1.5%、2.2%，对GDP增长的贡献分别为6.7%、9.9%。

随着工业互联网的快速发展，其应用范围已经不再局限于制造业，逐步延伸到建筑、医疗服务、能源、交通等领域，并不断向第一、二、三产业其它领域扩展。2019年工业互联网在三次产业中的渗透比例分别为0.27%、2.76%、0.94%。

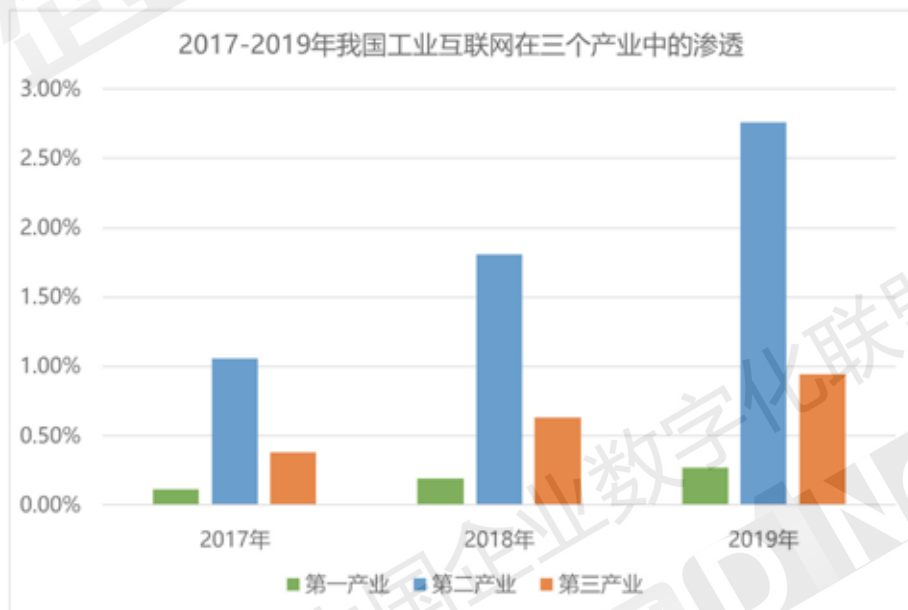


图4. 2017-2019年我国工业互联网在三个产业中的渗透（数据来源：中国信通院）

### 1.3.2 我国工业互联网的发展成效

网络基础设施得到持续改善。企业内网改造加快部署，尤其是适应工业互联网要求的专用网络改造。部分制造企业积极探索，“5G+工业互联网”成为改造新路径，已建在建项目超800个。工业互联网标识解析体系实现从0到1的突破，中国分别在北京、上海、广州、武汉、重庆建立了国家顶级节点。以国家顶级节点为核心的工业互联网标识解析体系成效初显，“东西南北中”一体化格局初步形成。已上线运营60个二级节点，覆盖21省26个重点行业，接入企业节点超3000个，标识注册量突破54亿。

应用广度和深度不断拓展，大中小企业各具特色，不同规模企业间融通发展不断深化，推动产业链上下游协作水平快速提升。根据评估，大型企业的融合应用普及率为 86.1%，中型企业的融合应用普及率为 68.7%，小微企业的融合应用普及率为 51.8%。

工业互联网应用创新持续活跃，各类新模式新业态不断涌现。“5G+工业互联网”融合应用加速落地，工业互联网“联网+信贷/保险/租赁”等特色应用模式加速成型，形成驱动实体经济数字化转型的全新动力。

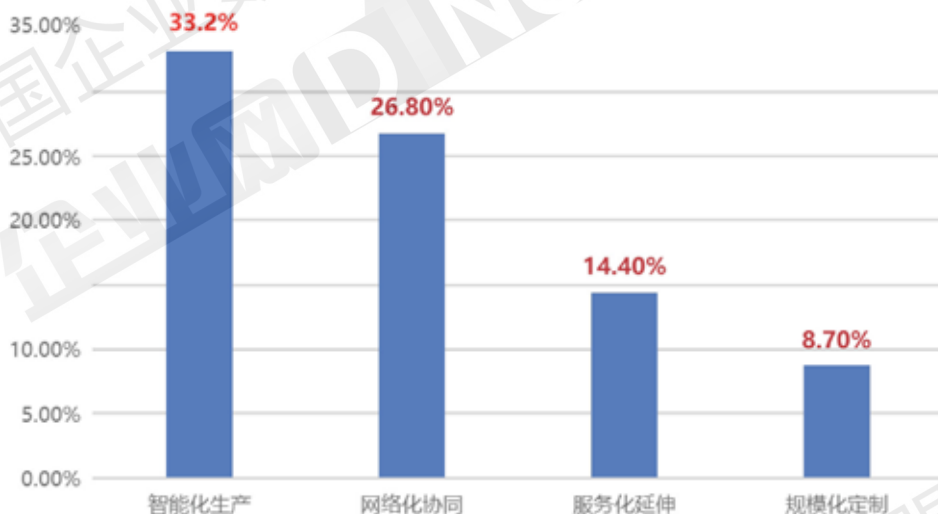


图 5. 2019 年调查企业应用新模式占比（来源《中国工业互联网发展成效报告》）

## 1.4 我国工业互联网平台概况

近两年我国工业互联网平台数量实现了快速发展，截止到 2019 年底，具有一定行业、区域影响力的平台超 70 个，跨行业跨领域平台、垂直行业、专业领域、企业平台各具特点、优势互补，多层次平台体系初步形成。十大双跨平台平均连接设备数量达到 80 万套，平均工业 APP 数量超过 3500 个。在边缘层有和利时、中国中控，在工业 PaaS 层有树根互联、徐工信息、航天云网、东方国信、工业富联、海尔卡奥斯，在工业 SaaS 层有航天云网、树根互联、徐工信息、东方国信、海尔卡奥斯、用友精智等优秀的平台。

工业互联网平台正在驱动工业制造和信息化的深度融合，在优化全产业链、全要素、全价值链资源配置、提升效率，融合创新和商业模式重构方面发挥重要的作用。一方面通过工业互联网平台降低生产成本，提升产品质量，提高劳动生产率，实现卓越运营。二是实现产品和服务的创新，如通过工业互联网平台可以实现服务化延伸，由传统的产品销售模式向产品+服务的模式转变，从而提升企业的竞争力。三是重新定义了工业生

产关系与组织方式，平台生态的构建打破企业之间的边界，实现生产方式的解构与重构。如通过平台连各个工厂，这些连接的工厂形成平台的“虚拟工厂”，平台接到订单后，可以根据不同工厂的生产能力进行分配和管理，实现“共享经济”。

国内建立工业互联网平台的主要有四类企业，传统的制造业、工业设备提供商、工业软件企业、信息通信企业，国内四类企业主要凭借自身优势从工业知识与信息技术两个方向切入工业互联网平台。互联网企业及通信企业构成的信息通信企业主要是发挥其IT技术优势，将已有的云平台向工业领域延伸，构建包括边缘层、IaaS层及通用PaaS层的工业互联网平台。工业软件企业、设备提供商及制造企业均是基于工业领域的知识、经验构建的工业互联网平台。规模大的企业，具备构建完整的工业互联网平台架构的能力，中小型企业通常选择在ICT企业建立的通用PaaS之上构建具备特定功能的工业互联网平台。

因工业数字化发展水平，工业基础能力及企业分布结构不同，国内外工业互联网平台的探索路径不同，应用场景分布差异较大。目前我国工业数字化水平参差不齐，工业基础能力较差，中小企业较多等问题是导致部分工业互联网平台应用优化价值低的重要原因。

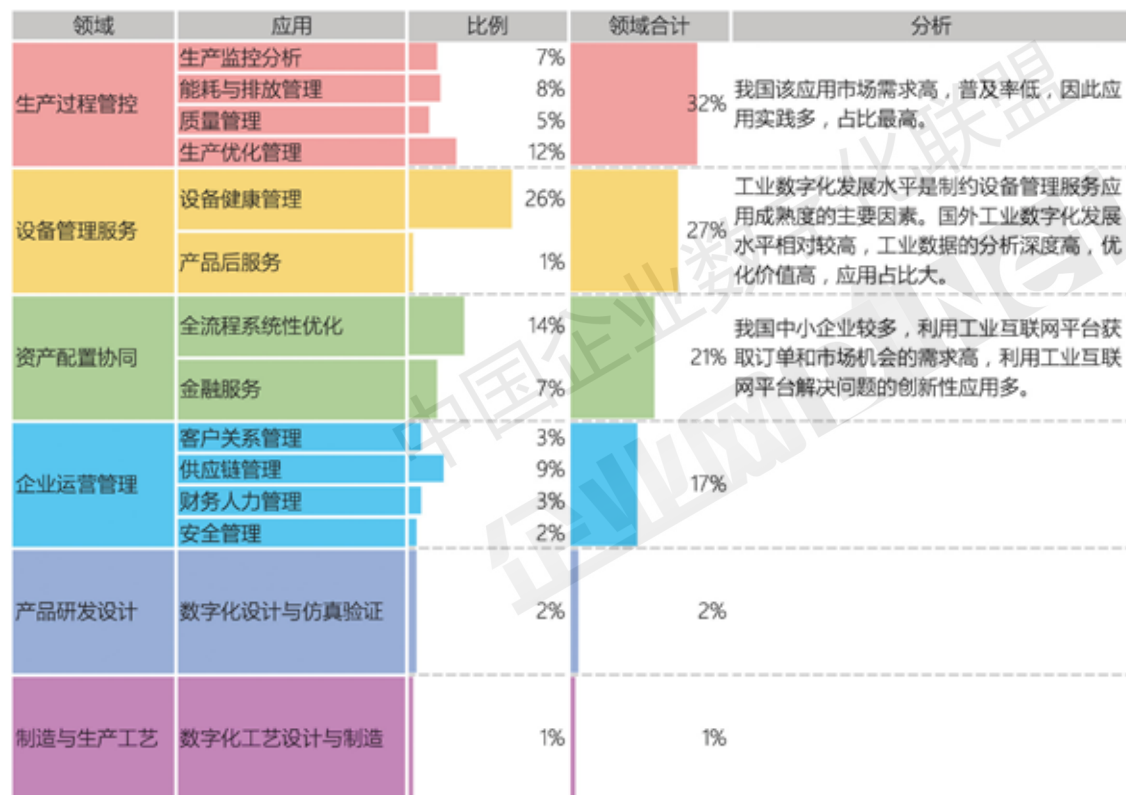


图 6. 工业互联网平台的应用场景概况



## 工业互联网的体系架构

工业互联网的参考架构是一个开放式的体系结构，应用于工业互联网系统。为了推动工业互联网的发展，各个国家的工业互联网联盟纷纷推出了自己的工业互联网参考架构模型，用以指导相关标准体系建设及产业推进。下面简单介绍一下美国、德国和中国的参考架构模型。

### 2.1 工业互联网体系架构所依赖的标准

ISO/IEC/IEEE 42010-2011 标准是用于描述系统的组织和表达的方式，使用的架构视图、架构框架和架构描述语言。它定义了架构视图、架构描述及架构语言，用以指导一个具体系统架构的表述方式。工业互联网的体系架构也遵循此标准的架构描述方法来描述其体系。

ISO/IEC 62890 标准是用于描述产品全生命周期和价值链。它按照产品原型阶段及产品生产两个大的阶段来划分。产品原型阶段划分为初样的开发，再到样机的试制、测试和验证以至试用，最后该型号产品得以定型，可以转至批量工业生产。在实际生产阶段划分为设计、采购、生产、销售、物流、售后服务等几个环节，构成了企业价值链。工业互联网体系框架借助于该标准用来描述体系架构的横向关系。

ISO/IEC 62264、61512 (ISA95、88) 标准用于描述制造企业功能层次模型，它将制造业的功能划分为五个层次并给出了各层次的功能清单。它将功能层次模型第4层与第3层之间的边界定义为企业业务系统与制造系统之间的边界，是工业互联网 OT 层和 IT 层的分界面。工业互联网借助于该标准用来描述体系架构的纵向层级关系。



## 2.2 美国工业互联网参考架构 IIRA

2015年6月美国工业互联网联盟(IIC)发布了《工业互联网参考架构 IIRA》1.0版本。按照 ISO/IEC/IEEE42010-2011 关于架构描述的标准,参考架构包括业务视角、应用视角、功能视角和实施视角四个层级。业务视角描述了商业模式、远景、关键业务活动、投资回报等;应用视角描述如何实现商业视角所识别的关键能力;功能视角用于描述工业互联网的功能体系结构,它分为控制域、操作域、信息域、应用域、业务域五个域;实施视角用于描述工业互联网的技术实现,以及实现功能视角所规定的活动和所需要的功能组件。该架构也描述了系统安全、信息安全、弹性、互操作性、连接性、数据管理、高级数据分析、智能控制、动态组合九大系统特性。经过几年的改进和修订,目前最新版本为 1.9。

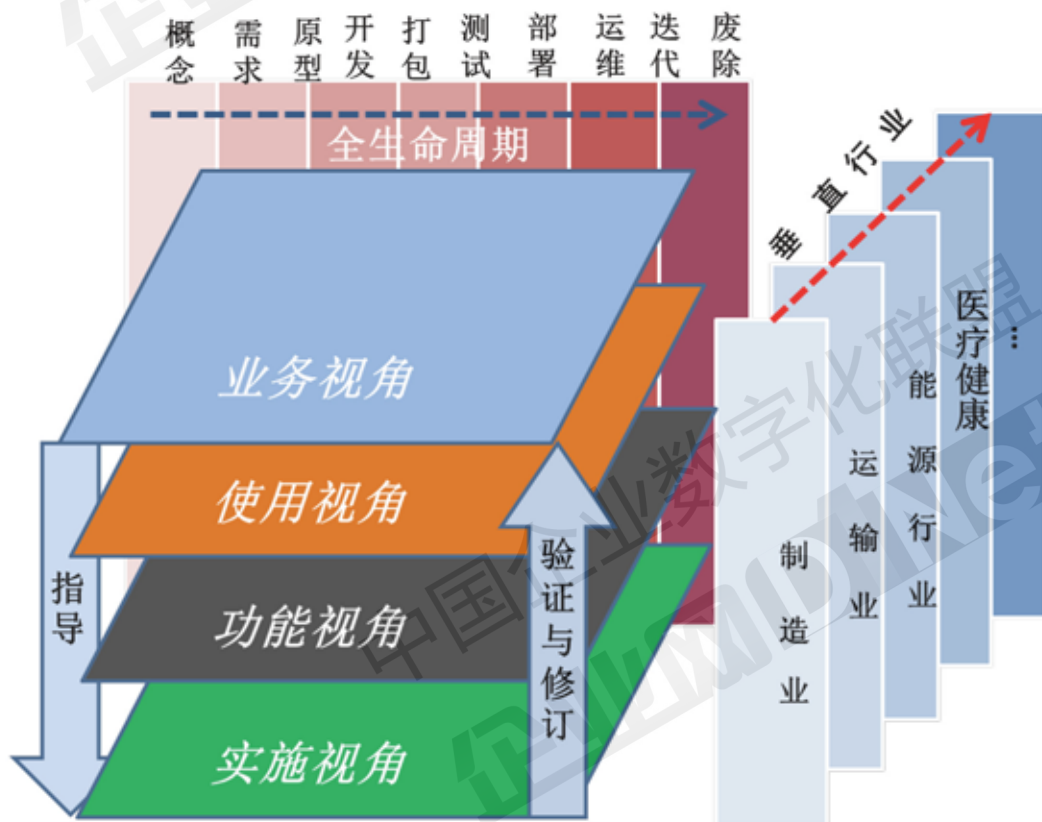


图 7. 美国工业互联网参考架构

## 2.3 德国工业互联网参考架构 RAMI4.0

2015年3月德国工业4.0工作组正式发布了工业4.0参考架构模型(RAMI4.0)，它从产品生命周期/价值链、层级和架构等级三个维度，分别对工业4.0进行多角度描述的一个框架模型。

RAMI4.0的第一个维度，是在ISO/IEC 62264(ISA95)和ISO/IEC61512(ISA88)企业系统层级架构的标准基础之上，补充了产品或工件的内容，并由企业内部拓展至“企业外部互联”，从而体现工业4.0针对产品服务和企业协同的要求。第二个维度是在信息物理系统的核心功能，以各层级的功能来进行体现，分为业务层、功能层、信息层、通信层、集成层、资产层(机器、设备、零部件等)。第三个维度，是在ISO/IEC62980(ISA105)标准基础上定义了企业价值链，即以产品全生命周期视角出发，描述了以零部件、机器和工厂为典型代表的工业要素从虚拟原型到实物的全过程。

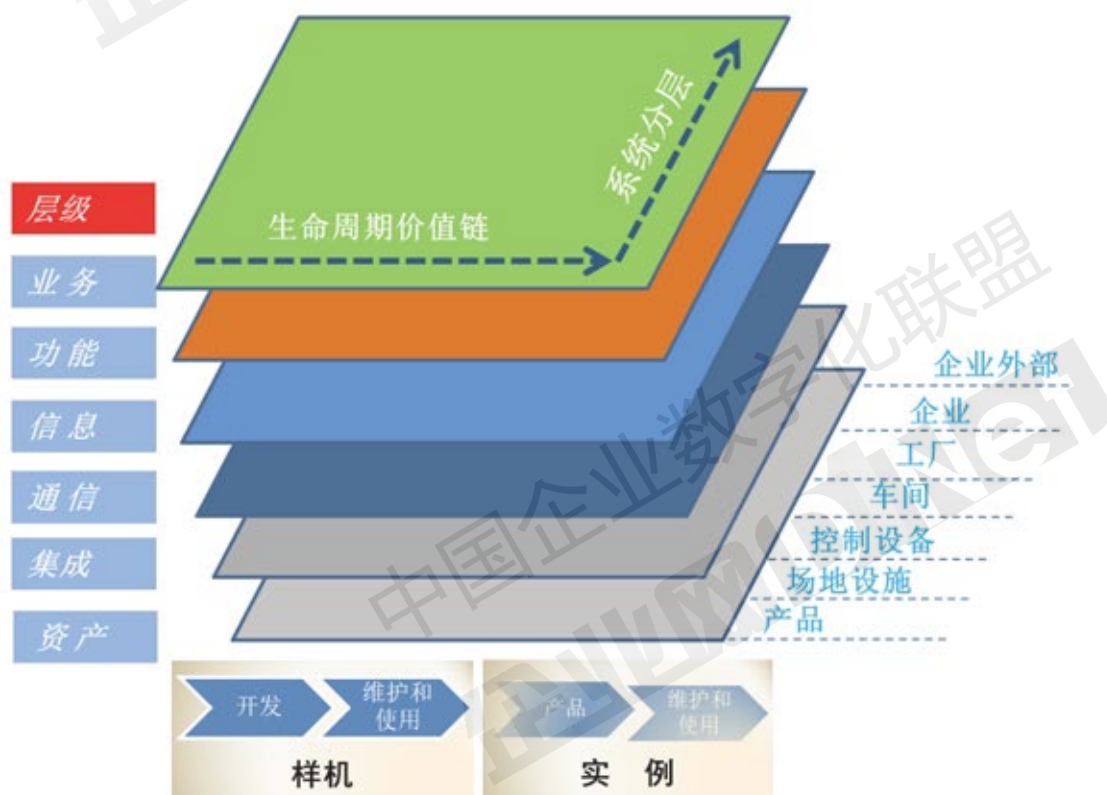


图 8. 德国工业参考模型

## 2.4 日本工业价值链参考模型（IVRA）

日本工业价值链促进会（IVI）于2016年发布了智能工业制造业基本架构，即《工业价值链参考架构》（IVRA），成为日本智能制造的里程碑。

IVRA具有三维模式结构，最微观的组件称为“智能制造单元（SMU）”，SMU将制造现场作为一个单元，通过执行轴、资源轴、管理轴三个轴进行判断。

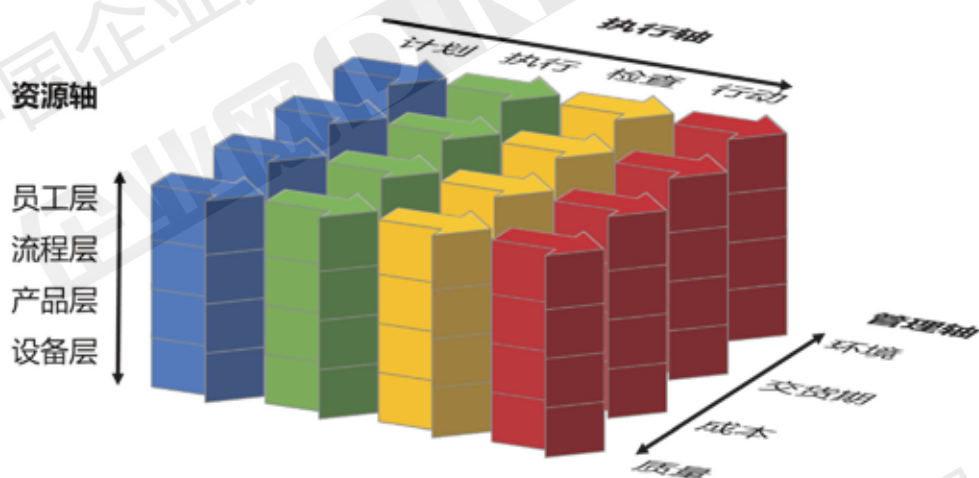


图9. 工业价值链参考模型图

## 2.5 中国工业互联网体系架构

中国工业互联网产业联盟在参考美国工业互联网参考架构 IIRA、德国 RAMI4.0、日本 IVRA 的基础上于2016年8月发布了《工业互联网体系架构 1.0》。其后在不断总结经验的基础上修订完善，于2019年8月发布了《工业互联网体系架构 2.0》。整个体系框架由以下四部分组成：

**业务指南**：体现工业互联网产业目标、商业价值、数字化能力及业务场景。

**功能框架**：明确支持业务实现的功能包括基本要素、功能模块、交互关系和作用范围。

**实施框架**：描述实现功能的软硬件部署，明确系统实施的层级结构、承载结构、关键软硬件和作用关系。

**技术框架**：汇聚支撑工业互联网业务、功能、实施所需要的软硬件技术。



图 10. 中国工业互联网体系架构 2.0

**工业互联网业务指南总体视图：**业务指南框架由产业级、企业级、应用级及场景级组成，不同层级的人关注点不一样。

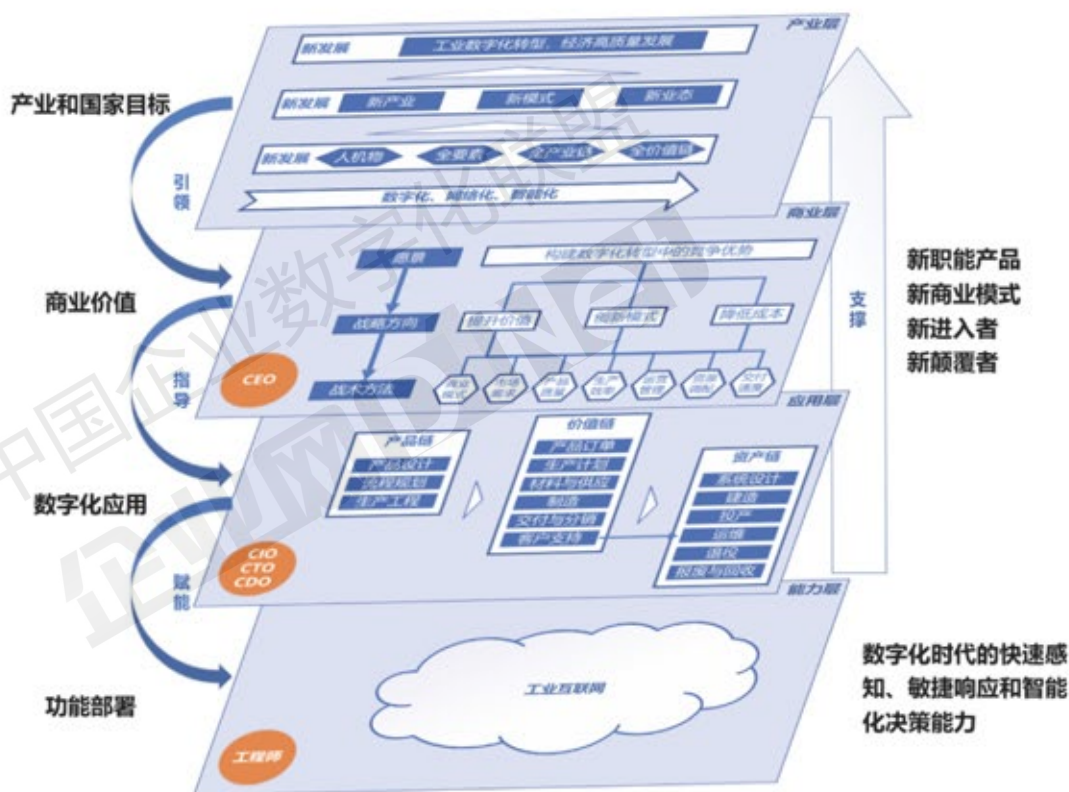


图 11. 中国工业互联网体系业务指南框架

工业互联网功能架构总体视图：功能框架由网络、安全、数据、平台等核心功能及行业解决方案、实施层级组成。

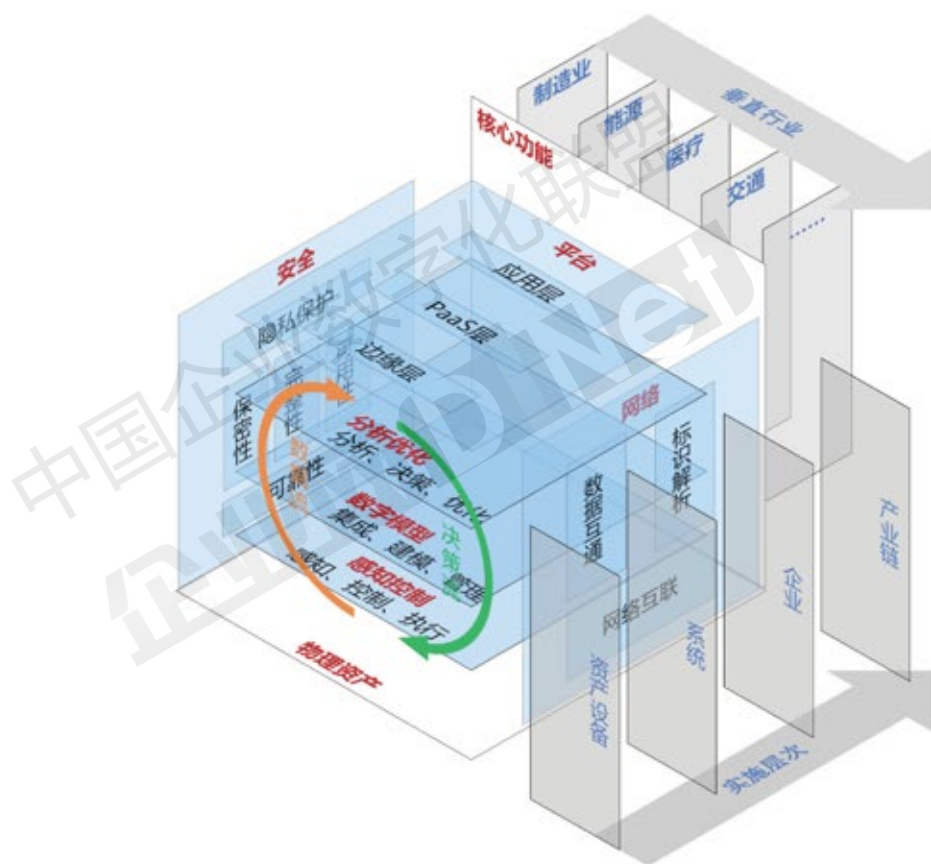


图 12. 中国工业互联网体系架构

工业互联网实施框架视图：框架由网络、安全、数据、应用等功能组件的实施，以及在产业层级、企业级、边缘层级设备层的部署方式。

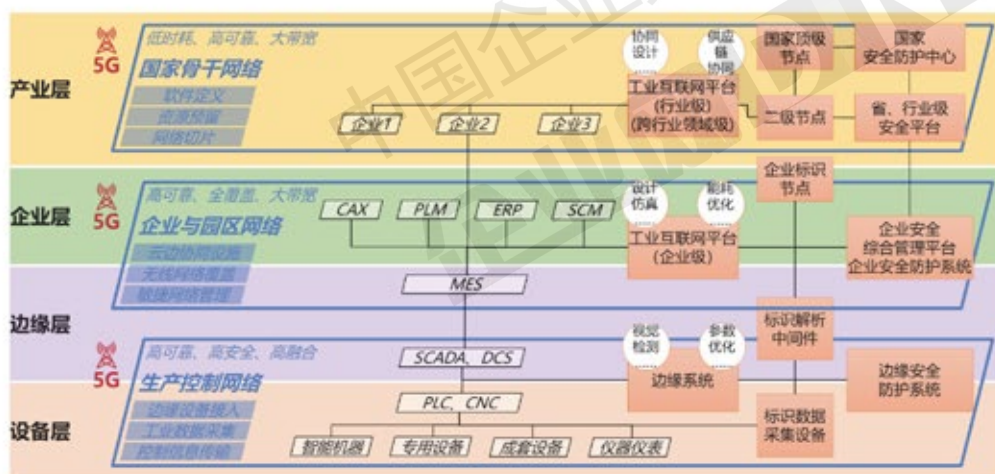


图 13. 中国工业互联网体系架构

## 2.6 工业互联网平台参考架构

工业互联网平台参考架构国家标准由中国信通院牵头联合各单位正在起草过程中，总体上由业务视图、功能视图、标准视图三部分组成。业务视图涉及到工业互联网平台的潜在应用场景、预期目标、应用层级及价值链。功能视图描述组成工业互联网平台所需的功能组件，它包含边缘层、基础层（IaaS）、平台层（PaaS）及应用层（SaaS）四个层级，实施视图是各功能组件在工业互联网场景下的部署逻辑框架及相互关系，它包含边缘级实施、企业级平台实施、行业级平台实施。

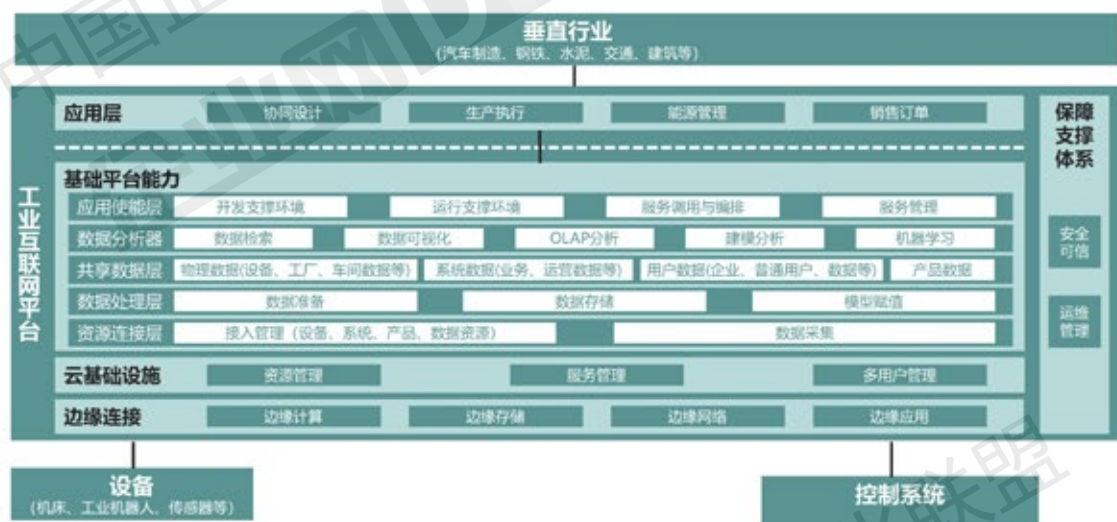


图 14. 工业互联网平台参考架构

## 2.7 智能制造体系框架

为指导未来一段时间智能制造标准化工作，解决标准缺失、滞后、交叉重复等问题，落实“加快制造强国建设”，工业和信息化部、国家标准化管理委员会在 2015 年共同组织制定了《国家智能制造标准体系建设指南（2015 年版）》并建立动态更新机制。

按照标准体系动态更新机制，扎实构建满足产业发展需求、先进适用的智能制造标准体系，推动装备质量水平的整体提升，工业和信息化部、国家标准化管理委员会共同组织制定了《国家智能制造标准体系建设指南（2018 年版）》。

智能制造系统架构从生命周期、系统层级和智能特征三个维度对智能制造所涉及的活动、装备、特征等内容进行描述，主要用于明确智能制造的标准化需求、对象和范围，指导国家智能制造标准体系建设。体系框架如下图所示：

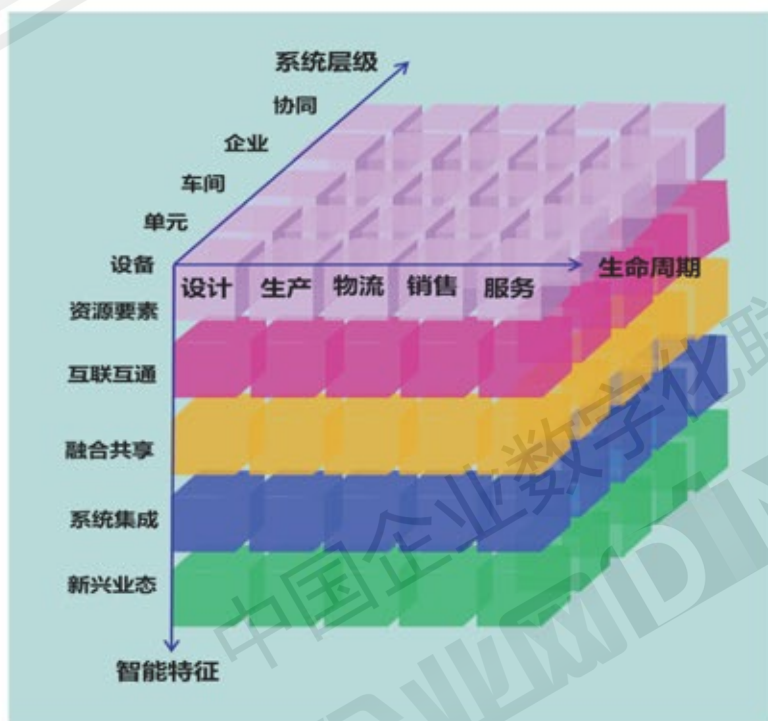


图 15. 智能制造系统架构





## 工业互联网驱动的工业企业数字化转型

### 3.1 企业数字化转型的内涵和框架

#### 3.1.1 数字化转型的概念

数字化转型的概念并没有相关的国标或者国家标准定义，如果要定义和理解企业数字化转型，必须从数字经济及企业创新的角度入手。

##### (1) 数字经济的概念

根据新古典经济学派的代表人物美国经济学家罗博特·索洛提出的“索洛模型”即  $Y=AF(K, H, N)$ ，国民经济总增长最终可以归根为要素投入的增长和全要素生产率增长。

中国从改革开放以来经历了高速发展的四十年，在 2010 年超过日本成为全球第二大经济体。然而，单纯由传统生产要素投入增加驱动的经济增长模式越来越难。一方面资源、劳动力要素成本上升很快，另一方面为应对日益严峻的环保压力，200 个缔约方在巴黎气候变化大会上签署了《巴黎协定》，承诺碳排放指标，“低碳发展、绿色发展”是必然选择。因此，以提高全要素生产率驱动的增长模式取代传统投资驱动的增长模式。那么通过什么途径可以提高全要素生产率呢？根据北大光华管理学院刘俏教授及其课题组的观点，中国经济的“再工业化”，也就是“产业的数字化转型”，利用新一代数字化技术驱动的产业变革可以带来全要素生产率的大幅提升空间。我国在 2016 年的杭州 G20 峰会上的《二十国集团数字经济发展与合作倡议》中正式提出了“数字经济”的概念，即是指以使用数字化的知识和信息作为关键生产要素、以现代信息网络作为重要载体、以信息通信技术的有效使用作为效率提升和经济结构优化的重要推动力的一系列经济活动。数字经济的核心是通过数字化技术来提高全要素生产率。

数字经济已经成为二十一世纪中国经济增长的重要驱动力。据中国信通院发布的《中国数字经济发展白皮书（2021年）》，2020年我国数字经济规模达到39.2万亿元，占GDP比例为38.6%，对GDP的增长贡献为67.7%。在第一产业、第二产业、第三产业的渗透比例分别为8.9%、21.0%、40.7%。

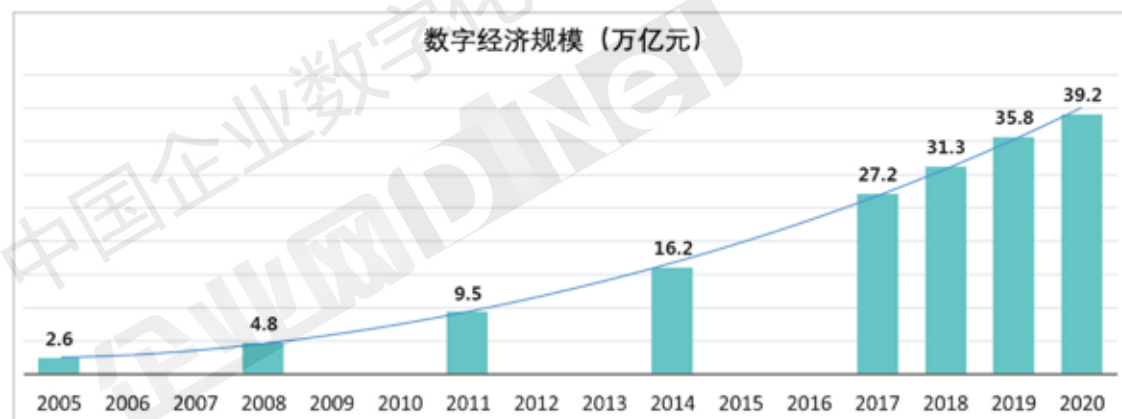


图 16. 我国数字经济发展情况

传统企业一方面要面对劳动力、土地、能源要素快速上升的压力，另一方面传统企业的经营管理模式也相对比较固化落后，难以适应当前快速变化的市场需求，从而使得资源在经营流程中容易流失。因此，传统企业在数字经济时代的大背景下如何充分利用数字化技术来实现运营优化、产品和服务创新、模式重构是每一个企业面临的战略选择。

## （2）创新和企业创新

“创新”的概念不是来源于技术领域，而是来源于经济学领域，首次提出“创新”概念的是经济学家熊彼特。他认为，所谓“创新”就是“建立一种新的生产函数即生产要素的重新组合”。一共包含五种情况的创新，创造新的产品，采用新的生产方式，开拓新的市场，开拓原材料或者半成品供应基地，在产业中采用新的组织，比如创造出垄断或者打破垄断。他在《经济发展理论》一书中提出了著名的“创造性破坏”观点，他认为创新是经济发展的源动力。

著名的管理大师德鲁克对创新的定义：创新是“使人力和物质资源拥有更大的物质生产能力的活动；任何改变现存物质财富创造潜力的方式都可以称为创新；创新是创造一种资源”。创新是企业改善市场环境的重要手段，是提升企业核心竞争力的根本途径。

随着对创新理论的研究的深入，出现了以技术变革和技术推广为研究对象的“技术创新”学派和以制度变革和制度形成为研究对象的“制度创新”学派两大阵营。制度创新学派的主要代表人物是美国经济学家兰斯·戴维斯和道格拉斯·诺斯，他们提出所谓

制度创新，是指能使创新者获得追加利益（潜在利益）的现存制度的变革，通过这种变革即建立起某种新的组织形式或经营管理形式。例如企业分配制度的变革，企业激励体系的变革等。技术创新学派的代表人物如爱德温·曼斯菲尔德（Edwin Mansfield）、莫尔顿·卡曼（Morton I. Kamien）、南塞·施瓦茨（Nanoy L. Schwartz）、保罗·戴维（Paul A. David）和 Z·格里列希斯（Zvi Griliches）等追随熊彼特之后，对他的技术创新思想进行研究并做出了新的贡献和发展。如曼斯菲尔德的“技术推广模式”、卡曼和施瓦茨关于“技术创新与市场结构关系”的论点、戴维的企业规模“起始点”理论。其核心思想是通过引入新的技术实现生产要素的重新组合，包括组合成新产品和组合方式的变化。

### （3）创新的方式

根据创新的新颖程度可以将创新划分为“渐进式创新”、“结构式创新”、“突破式创新”、“颠覆式创新”。下图是从市场和技术两个维度来划分创新的。

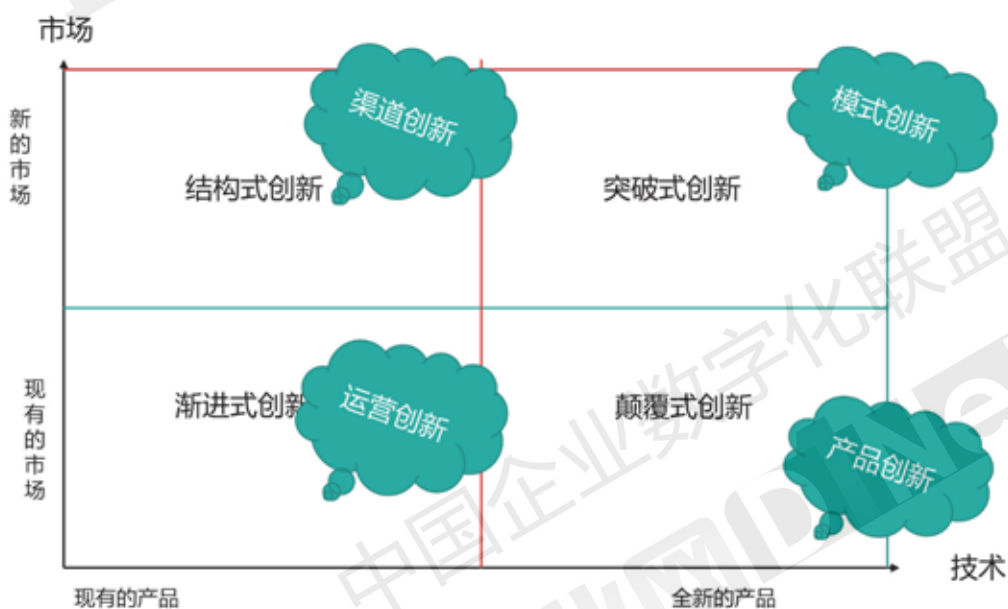


图 17. 创新的四种类型

根据创新的层面划分为在组件层面还是架构层面。有些创新改变了组件层面，有些创新则改变了整个系统架构。亨德森和克拉克认为，创新很少只涉及单一的技术和市场，而是要处理构成体系的大量知识。成功的创新要求管理者能够掌握和使用关于组件的知识，也要掌握如何将这些组件组合在一起的架构的知识。

根据创新的时机分为“流变”、“过渡”、“成熟”三个阶段。根据阿伯内西和厄特巴克开发了创新生命周期模型来描述创新模式的三个不同的发展阶段。

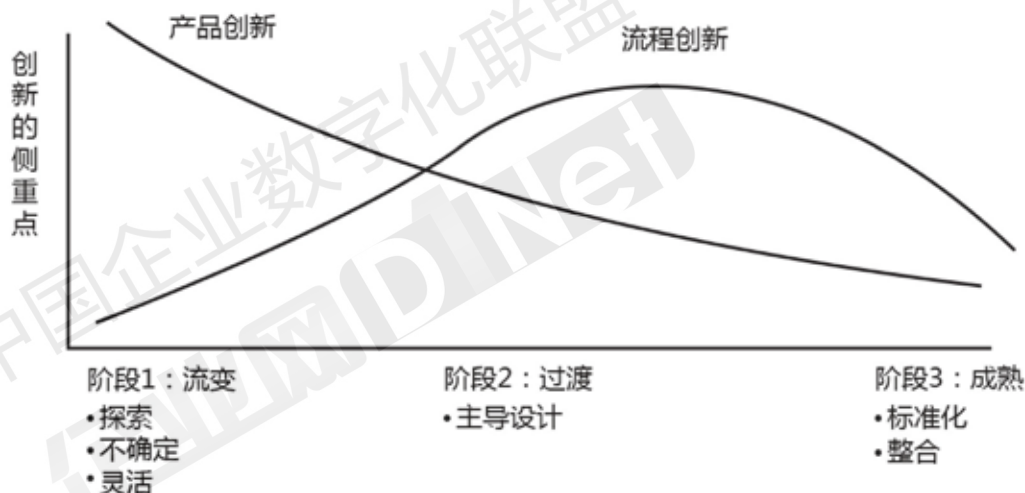


图 18. 产品生命周期模型

### 阶段 1

非连续条件下，即全新的技术或市场出现时，存在一个“流变阶段”（或称“酝酿阶段”）。

- 这个阶段有很大的不确定性。
- 没有人知道技术手段和市场需要的“正确”配置是怎样的，因此许多市场参与者（包括大量新创企业）都在进行大量的实验（伴随着许多失败）和快速学习。
- 流变阶段的特征是新旧技术的共存和两者的快速提高。
- 在这一阶段常常可以观察到“帆船效应”，即成熟的技术加快自己的改进速度，以此作为对新的竞争技术的回应。

### 阶段 2

在阿伯内西和厄特巴克的模型中，出现主导设计并且侧重点转向模仿和开发的阶段被称为“过渡阶段”。

- 通过帆船效应这些实验成果开始融汇形成“主导设计”，开始确定游戏的规则。
- 在形成新的配置时会聚焦于最受欢迎的方案。
- “浪潮”开始滚滚向前，创新选项越来越多地集中于一组核心的可能性。
- 创业的兴趣及其带来的资源也越来越多地聚焦在主导设计的可能性上。
- 关键特征日益稳定，实验也转向排除缺陷和完善主导设计。

- 这一阶段创新的主要活动从根本概念的开发转向关注产品差异化,以及更稳定、更廉价、更高质量和更多样的功能等。

### 阶段 3

这一阶段被称为“成熟阶段”。

- 随着创新概念的进一步成熟,渐进性创新变得更加重要,重点也转向价格等因素。
- 这意味着围绕这些产品而成长起来的行业日益将注意力转向合理化、规模经济和流程创新,以此来降低成本,提高生产率。
- 产品创新更多的是通过定制化来满足特定客户的特殊需求。
- 最后会出现新的变革。
- 创新的空间变得越来越小,在科研人员的构想中,外部新的创新的可能性正在出现。
- 最终会出现新的技术,并有可能对现有的规则形成挑战。

### (4) 企业创新的驱动力

一般来说企业创新的驱动力来自以下几方面:一、通过主动创新以谋求获得行业的超额垄断利润,如通过创造新的产品投放到市场获取超额利润,供给创造需求。或者通过改善现有产品的生产方式,降低成本获取超额利润;二、迫于外部竞争压力,不得不通过创新重新获得竞争优势。比如竞争对手采用了新的技术改善产品结构或者降低成本,不得不模仿竞争对手的创新方式;三、技术的发展迫使企业放弃现有技术采用新的技术,比如数码技术的发展,不得不放弃传统的光学相机和感光胶卷;四、客户对产品的需求发生变化,如客户对智能手机的需求迫使企业放弃传统的手机;五、政府政策的变化迫使企业为了合规而采取创新。如“碳达峰和碳中和”政策迫使企业慢慢放弃传统的燃油车改为生产新能源车。

### (5) 数字化技术生产要素的特点

首先是其使用的非竞争性,物理产品使用的竞争性是指一方的使用会阻断或者减少他人对该物品的使用,从而降低他人使用该物品的效用。而很多数字化产品一旦生成即可以复制,不同使用主体互不干涉。第二个是数字化技术的核心载体数据具有强外部性,孤立的数据价值很低,但数据应用于某些维度或者场景时,可能创造数倍于初始价值的价值和效益,即数据具有很强的外部性。三是数字化技术可以跨越时空,低成本快速流动,增强和传统的生产要素的结合水平。四是试错成本很低,借助于模拟和仿真技

术就很容易完成产品的试制、测试，大大降低了试错成本。

数字化技术作为一种生产要素其独特性优势能加速企业的创新，因此很多企业在创新过程中越来越倾向于采用数字化技术来创新。

### (6) 数字化转型的概念

综上所述，如果我们从数字经济和企业创新的角度来定义“企业数字化转型”，那么所谓“企业数字化转型”就是利用数字化技术和传统生产要素的结合，优化资源配置，提升效率，实现企业创新的过程，目的是提高企业竞争力。

企业创新的维度分为“渐进式创新”、“突破式创新”、“颠覆式创新”，那么我们可以把企业数字化转型分为运营创新、产品和服务创新、商业模式创新三个维度。运营创新主要是通过数字化技术改进生产方式，降低成本提升竞争优势；产品和服务创新就是利用数字化技术和传统的物理产品融合或者用数字化产品替代传统的物理产品，从而创造出新的产品满足客户需要，从而获得超额利润；模式创新就是利用数字化技术重构企业的业务模式，比如构建价值网络，打造平台经济。

## 3.1.2 数字化转型的框架

根据中关村信息技术与实体经济融合发展联盟发布的《数字化转型参考架构》（T/AIITRE10001-2020），数字化转型参考架构的总体框架包括数字化转型的主要视角、过程方法、发展阶段。



图 19. 数字化转型参考架构总体框架

主要视角给出数字化转型的主要任务，包括发展战略、新型能力要求、系统性解决方案、治理要求、业务创新转型五个视角。

**发展战略视角**包括竞争合作优势、业务场景和价值模式三个子视角。组织应制定数字化转型战略，并将其作为组织发展战略的重要组成部分，把数据驱动的理念、方法和机制根植于组织发展战略全局。条件成熟的组织，应将数字化转型战略和发展战略合二为一，融为一体。

**新型能力视角**包括与价值创造的载体有关的能力、与价值创造的过程有关的能力、与价值创造的对象有关的能力、与价值创造的合作伙伴有关的能力、与价值创造的主体有关的能力、与价值创造的驱动要素有关的能力等六个子视角。组织应将新型能力建设作为贯穿数字化转型始终的核心路径，通过识别和策划新型能力（体系），持续建设、运行和改进新型能力，支持业务按需调用能力以快速响应市场需求变化，从而加速推进业务创新转型，获取可持续竞争合作优势。

**系统性解决方案视角**包括数据、技术、流程、组织等四个子视角。组织应深化应用新一代信息技术，策划实施涵盖数据、技术、流程、组织等四要素的系统性解决方案，支持打造新型能力，加速业务创新转型，并通过四要素的互动创新和持续优化，推动新型能力和业务创新转型的持续运行和不断改进。

**治理体系视角**包括数字化治理、组织机制、管理方式、组织文化等四个子视角。打造新型能力，推进业务创新转型，除了策划实施系统性解决方案以提供技术支持，组织还应建立相匹配的治理体系并推进管理模式持续变革，以提供管理保障。

**业务创新转型视角**包括业务数字化、业务集成融合、业务模式创新和数字业务培育四个子视角。组织应充分发挥新型能力的赋能作用，加速业务体系和业务模式创新，推进传统业务创新转型升级，培育发展数字新业务，通过业务全面服务化，构建开放合作的价值模式，快速响应、满足和引领市场需求，最大化获得价值效益。这是企业实施工业互联网的价值。

## 3.2 工业互联网与数字化转型的关系

工业互联网作为新一代信息技术与工业体系深度融合所形成的新兴业态和应用模式，是实现产业数字化转型的关键基础设施。工业互联网与传统产业的融合，极大地推动了传统产业的转型升级。据 2018 年数据测算，工业互联网融合带动的第一产业、第二产业、第三产业规模分别为 131 亿元、6630 亿元、3044 亿元。

从数字化转型业务创新转型视角来看，企业通过建立工业互联网平台共享给产业链用，建立起平台经济，形成新的业态；通过工业互联网平台构建智能工厂，实现提质增效；通过工业互联网平台实现服务化延伸，由单纯的产品销售向产品销售加服务转型。

从数字化转型的系统性解决方案视角来看，通过工业互联网平台纵向可以打通设备、控制、生产执行、经营管理、决策，实现数据贯通，横向可以和客户、上下游产业链贯通，实现人与人、人与机器、机器与机器、企业与企业之间的高效协同。与消费互联网仅仅只解决了销售渠道侧的便利性不同，工业互联网解决了供给侧全要素、全价值链、全产业链的全局协同。

### 3.3 工业互联网应用路径和模式

企业应用工业互联网的模式一就是利用工业互联网实现降本增效。通过智能工厂的建设打通设备、产线、生产和运营系统，通过连接和数据智能，提升生产率和产品质量，降低能源资源消耗。如海尔已建成多个数字智能互联工厂，整个生产过程时间可以缩短50%，半成品库存减少80%，人工成本降低85%，产能效率翻番。酒钢集团通过能耗管理，单座高炉降低成本2400万元/年、减少碳排放20000吨/年，冶炼效率提升10%。

企业应用工业互联网的模式之二是产品和服务创新。通过工业互联网平台打通企业内外部产业链和价值链，通过连接和数据智能提升协同能力，实现产品、生产和服务创新，推动业务和商业模式转型，提升企业价值创造能力。GE生产的航空发动机市场占有率超过50%，在实施工业互联网前是单纯地销售发动机给飞机生产商。对于航空公司来讲减少发动机故障而导致的航班延误及降低安全风险是他们的核心诉求点。GE利用他们在行业的经验开发了一套智能运营系统，帮助航空公司监控发动机的运行情况，不仅做到了发动机的预测性维护，而且通过优化发动机的燃油消耗，把燃油成本降低了5%。因此，GE通过后续的这些附加服务的收费，由单纯的销售产品，变成了产品+服务的收费模式，大大提升了附加值。类似国内的案例有宁德时代，他们建立了一套电池监控平台，通过监控电池的使用状况进行数据分析不仅可以优化设计，而且能给整机厂提供及时的维修服务，同时把平台开放给4S维修店，让4S店进行众包维修服务。

企业应用工业互联网的模式之三就是打造工业互联网平台，建立生态型组织。通过自主建立工业互联网平台汇聚企业、产品、生产能力、用户等产业链资源，通过连接和数据智能实现资源优化配置，推动产业链上相关企业的生产运营优化与业务创新，打造面向产业生态体系和平台经济。从而实现商业模式的创新。国内的三一重工、徐工机械、工业富联、海尔智家各自利用自己在工程机械、工业制造、家电领域的优势，建立起自己的工业互联网平台，打造平台经济，创新商业模式。





## 企业实施工业互联网的 挑战

### 4.1 缺乏顶层规划

企业实施工业互联网的模式有自建模式和租用模式。因为工业互联网不同于消费互联网，企业应用消费互联网主要是为了解决销售渠道的问题，而工业互联网要解决企业全价值链、全要素的效率问题，它涉及到企业内部的纵向层级及企业外部的横向层级的贯通。因此，必须有顶层规划。对于第二产业企业而言，数字化转型在系统层级的解决方案就是工业互联网，因此这个顶层规划必须和企业的数字化转型战略结合起来。但目前绝大部分企业实施工业互联网都没有从顶层去规划，缺乏全局视图，都是一些局部的设备级、产线级的优化，难以看到整体效果。

### 4.2 难以找到应用场景

企业实施工业互联网的第二个挑战就是如何找到应用场景，目前绝大部分企业都有很好的信息化基础了，通过信息化打通了从市场、研发设计、采购、生产、销售、售后服务的全价值链，那么工业互联网的重点就是要如何从研发设计过程及生产过程中找到应用场景。比如设计过程的三维仿真设计、工艺设计、模拟加工，生产过程的能耗管理、设备健康管理、工艺优化等。但因为这些领域都涉及到多学科的交叉，单一的知识点都无法去从中找到理想的应用场景。因此，必须由多学科组成的团队针对特定行业、特定企业去挖掘特定的业务场景。

### 4.3 投资回报周期长

要看到工业互联网的整体实施效果，必然要实现全产业链、全价值链、全要素的贯通。横向价值链的贯通相对比较容易，很多企业都已经实现了，但纵向从企业、工厂、车间、产线、设备之间的贯通难度很大，必然涉及到大量的投资。如对存量设备的智能化改造，甚至需要淘汰落后的生产线，对现有生产线布局的调整，把OT层（操作层）和IT层（信息层）打通。这些都需要投入巨大的资金改造，对企业来讲短期很难看到明显的效益提升，可能需要十年甚至更长的时间才能收回投资。企业往往要面对外部环境的变化不确定性，投资回报周期又这么长，因此很多企业都不敢投入去改造。

### 4.4 工业机理复杂

对于工业互联网的横向价值的贯通相对来讲工业机理复杂度较低，通用性较强，如供应链管理、客户关系管理等。但纵向方面生产工艺管理、设备健康管理、能耗管理、安全生产管理等涉及到大量的特定工业场景，其工业机理复杂。如设备的健康管理涉及到机械、材料学、力学、控制论、电器等方面的知识，影响设备健康状况的因素是多方面的，如何找到它们之间的关联关系是一个需要漫长探索的过程，需要建模、实验、修订模型的迭代循环才能完成。

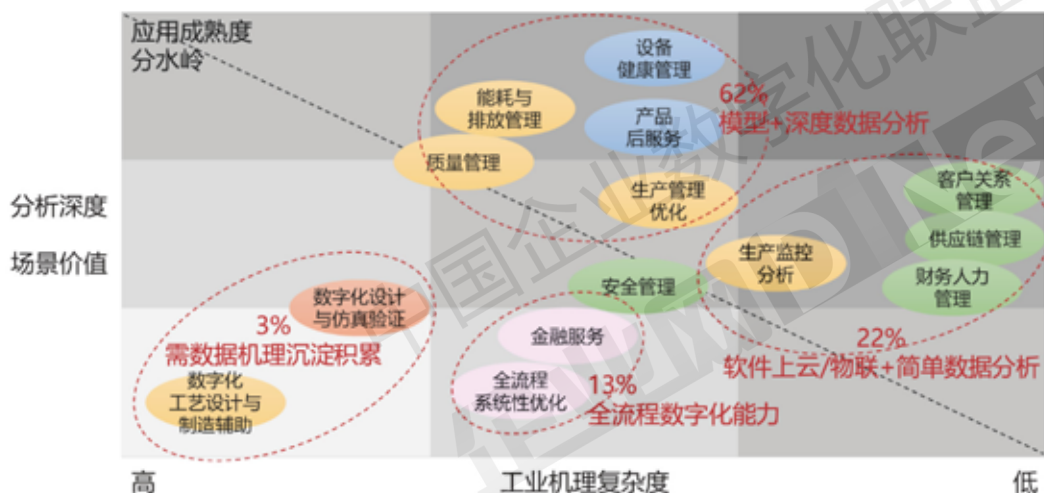


图 20. 工业机理复杂度和场景价值图

## 4.5 标准体系不完善

中国工业互联网产业联盟牵头多家单位于2019年发布了《工业互联网标准体系（版本2.0）》，共分为基础共性、总体、应用三大类。已经发布的标准有74项，其中国家标准65项、联盟标准8项，在制订中的标准84项，其中国家标准45项、通信行业标准24项、联盟标准15项，待制订的标准141项。

工业互联网出现的时间不长，很多标准还在制订和完善中。标准的缺失影响了工业互联网的实施，也影响了企业之间的互联互通，给企业实施工业互联网带来了难度。



图 21. 工业互联网标准体系框架



## 企业工业互联网体系搭建

### 5.1 做好顶层规划

#### 5.1.1 战略和商业模式设计

对于工业企业来讲，工业互联网的规划一定要和企业数字化转型规划融合，不能割裂开来。企业数字化转型是目的，工业互联网是手段，是实现企业数字化转型的系统性解决方案。

企业数字化转型有三个维度，卓越运营、产品和服务创新、模式转变，这三个维度从价值创造的角度来讲模式转变最大，但从实现难度来讲也最大。因此，首先应该从企业的发展战略和创造战略来确定选择哪个维度。

传统战略规划的方法在数字经济时代依然有效，但在规划的过程要重点考虑新的数字化技术对所在的行业以及本企业所带来的影响。波特认为产业内部的竞争状态取决于五种基本竞争力作用的结果，即现有企业之间的竞争、新进入者的威胁、供应商的议价能力、购买方的议价能力、替代品的威胁。根据五种力量的不同企业可以选择成本领先战略、差异化战略及集中战略。



图 22. 波特的五力模型

在数字经济时代，尤其要重视“替代品的威胁”，即所谓“跨界打劫”。如新能源车的出现不光是对传统的燃油车带来威胁，对石油行业，尤其是下游的加油站是一个巨大的冲击，共享单车的出现在一定程度下对加油站构成了威胁。

发展战略规划采用的第二个工具就是 PEST 模型，即从政治、经济、社会、技术四个维度对企业所处的环境进行分析。在数字经济时代要高度重视新技术对本行业、本企业所带来的变革。如利用区块链技术和物联网技术的结合可以构建新型的供应链金融平台，建立供应链体系中的关联企业可信关系，解决了传统的集中式的供应链金融平台的弊端。如通过人工智能可以实现企业风险管理，降低企业经营风险。用物联网技术可以构建充电桩网络，实现车主自助充电、支付、远程维护等功能。

战略规划采用的第三个工具就是 SWOT 模型，即内部优势、劣势，外部威胁和机会。在构建新的战略时，一旦发现了外部威胁和存在新的机会点时，并决定进入新的领域时，要分析内部的优势和存在的不足，扬长避短，通过能力的建设弥补自身的不足。在数字化转型中，尤其要重视内部数字化所需要的能力分析，数字化人才队伍、体制机制等方面。

通过战略分析的工具分析最终要得到企业的发展战略及演进路线。战略的取舍就是现有业务的数字化及提供数字化业务，对于传统企业而言提供数字化业务相对难度较大，通常都是先在业务数字化的基础上衍生到数字化产业的。如海尔的卡奥斯平台，最初是为了满足内部智能工厂的需要，通过工业互联网平台实现卓越运营，在此之上再实现服务化延伸如通过 C2M 的定制获取更多的订单和客户。后来发现这个平台不仅仅可以给内部使用，同时也可以开发给外部使用，通过平台对外提供数字化技术和服 务，获取新的收入来源，实现数字化产业。

一旦战略方向确定后，进行商业模式设计。商业模式设计可以借鉴瑞士人 Alexander Osterwalder 和比利时人 Yves Pigneur 合著的《商业模式新生代》的方法。他们在书中从客户细分、客户关系、客户渠道、价值主张、关键业务、核心资源、合作伙伴、成本结构、收入来

源九个方面描述了商业模式，并提出了非绑定式商业模式、长尾式商业模式、多边平台式商业模式、免费式商业模式、开放式商业模式六种商业模式。



图 23. 商业模式九宫图

这个九宫图中，客户价值主张是核心。如何通过数字化技术和传统产业的深度融合重塑客户的价值主张是商业模式和产品设计的核心。比如说蔚来汽车的换电业务，汽车电池的充电时间长，充电不方便，是客户不愿意购买新能源电池的主要原因。通过换电池大大缩短了客户等待时间，刺激了客户购买新能源电池的欲望。另一方面，换电池产生了新的业务模式，由原来的销售汽车变成了销售汽车加租赁电池服务的模式，收入来源也由单纯的销售汽车收入增加了租赁服务收入。当然，换电池业务离不开数字化技术的支持，比如GIS、计费系统、支付系统等。最近蔚来和中石化签署战略合作协议，在中石化所有的加油站都设置换电站，这样更加方便了车主。

钢铁行业的痛点是，在供给侧产能过剩，经过几年时间的产能压缩，总体产能利用率大概达到了80%；在渠道侧，大多通过经销商销售，流通层级过多，直销比例过低，一方面大大增加了流通领域的成本，流通效率也很低，另一方面客户对产品诉求的信息很难反馈到生产企业；在下游终端销售侧，钢贸企业一方面对必须支付现款给上游才能提货，另一方面对终端客户却有结账周期，存在大量的应收账款，因此它们的现金流紧张，有融资的需求，但银行却因为这些企业缺乏抵押物而不愿意贷款。宝武集团提出了要从现在的5000亿规模向10000亿规模发展的目标。因为钢铁产能的限制，宝武不可能通过扩大产能来达到营收过万亿的目标，另外的5000亿必然来自钢铁服务业。基于上述原因，宝武集团提出了“打造钢铁生态圈”的战略目标。就是要依托于宝信软件和欧冶云商的能力构建工业互联网平台，整合上游生产企业、物流服务企业、钢贸企业、

下游加工企业、终端客户、金融服务企业共建钢铁产业生态圈。这一模式的设计使宝武由传统的钢铁生产企业向钢铁生产和现代服务业转变，而工业互联网平台的搭建一方面使宝武自身的生产降本增效，另一方面对外输出了数字化服务平台，形成平台经济。

### 5.1.2 工业互联网的业务场景设计

企业数字化转型分三种方向，效率型、融合型、创新型，与此相对应是效率型数字经济、融合型数字经济、创新型数字经济。在战略和商业模式设计阶段确定了企业要采用何种数字化转型方向，根据选定的方向来设计业务体系。波特在《竞争优势》一书中提出价值链分析框架，他认为每个企业都是设计、生产、营销、交付和支持产品一系列活动的集合。沿着企业价值链活动去分析企业的成本结构，从而分析和构建企业的竞争优势。因此，业务场景的设计关键要找到企业所处的产业系统，企业内部的价值链、供应商价值、渠道价值链及客户价值链。沿着企业的价值链找到数字化技术和传统业务的结合点，从而改进、优化、提升它。下图是制造业企业典型的价值链模型：



图 24. 典型的制造业价值链模型

对于市场开发价值链环节，传统的市场开发都是采用线下渠道方式，基于数字化技术的市场营销能大大降低市场开发成本，提升营销效果。例如宝钢利用工业互联网平台通过供应商项目介入汽车生产厂，为汽车厂家提供个性化材料定制，通过工业互联网平台和客户的生产计划对接，实现按需供货。

在研发设计环节，通过数字化设计能大大降低研发成本，缩短研发周期。通过数字仿真技术可以减少试错成本，加快试制过程。如通过航天云网的模具云+CPDM 协同设计，可以大大降低模具的开发成本。

如果说其它价值链环节都可以通过信息化解决，那么工业互联网在效率提升的关键环节就是生产制造过程。下图是典型的企业内部纵向层级。传统的信息化时代只从管理的维度解决生产计划和生产调度的问题，没有打通人与机器之间、机器与机器之间的协同。通过把 IT 层和 OT 层的打通，能够实现柔性生产。柔性生产的实现解决了个性化定制带来的高成本问题，为大规模个性化定制提供了可能。



图 25. 企业内部纵向层级

面向生产过程的管控，有很多应用场景，如能耗管理、质量管理、工艺管理。航天电器利用 INDICS 平台建立多种因素与质量关键 KPI 的关联模型，对设备、工艺、检测等数据进行质量原因分析，实现不良品率降低 56%。如工业富联利用工业互联网平台进行刀具的寿命管理，使刀具使用寿命提升 5% 以上，每年节省成本 4000 多万元。山钢集团借助 Thingswise iDOS 平台，对跨工序能耗数据进行动态优化，实现能耗降低，每年节省成本 8000 多万元。宝钢股份通过对热轧 1580 智能车间改造，技术经济指标改善明显，工序能耗下降 6.5%，内部质量损失下降 30.6%，废次率下降 10%，全自动投入率提升 10.5%，指标实绩大大优于设定目标。

### 5.1.3 业务流程设计

确定好数字化转型战略及应用场景后，要优化现有的业务流程，甚至有些流程需要重构。打通端到端的流程是工业互联网平台设计的基础，也是实现网络化协同的前提。业务流程设计的方法主要有价值链模型及 APQC（美国生产力与质量管理中心）框架。



图 26. 价值链模型





图 27. APQC 框架图

流程体系的设计首先要做流程框架设计，然后设计流程、子流程、活动、任务和步骤，如果需要系统实现的话，那么流程的设计必须细化到任务和步骤。下图是流程层级结构图：

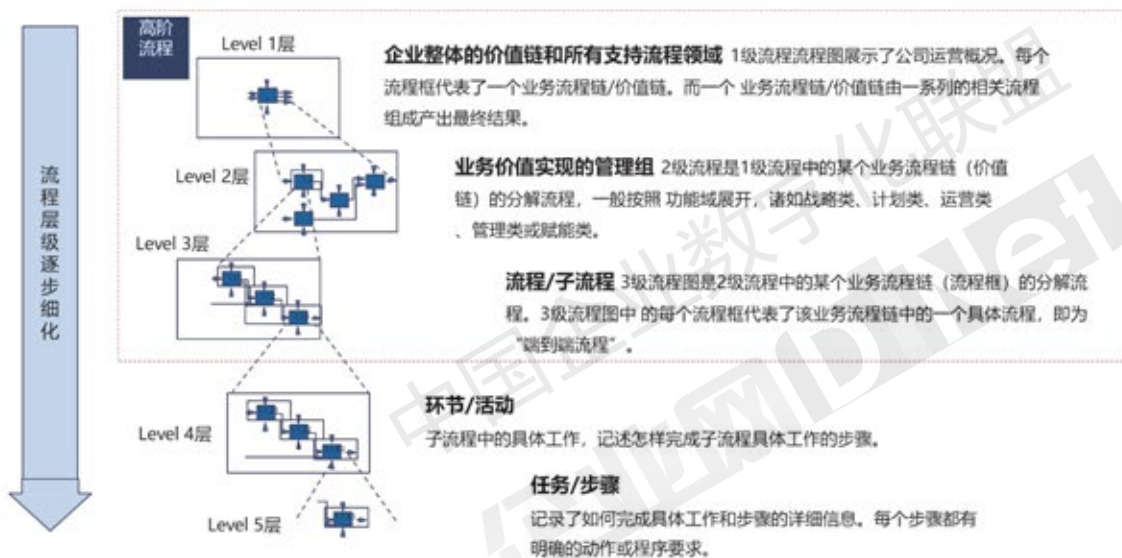


图 28. 流程的分层分级图

数字化转型流程设计重点要考虑数字化元素和传统产品融合后业务流程的变化，比如说如果没有协同设计，那么一般来说采用串行设计模式，有了协同设计在流程上就变化为并行设计了。如果是采用外部合作单位的协同设计，那么还需要考虑和外部协作的流程。如采用供应商早期介入开发市场和产品，那么在市场开发的同时产品开发流程、产品设计流程也会启动。如果通过工业互联网平台为客户进行远程运维，那么触发客户维修的工单就不仅仅来自客服部门。



另外，应用新一代数字化技术也可以优化传统的流程效率。传统的流程设计一般采用静态设计方法，一旦确定了业务流程除非人为去修改，否则系统是不会变化的。基于规则引擎和流程引擎，采用 AI 技术分析流程，可以根据业务场景动态优化。比如合同审核流程，可以根据不同的供应商类型、不同的合同、不同场景、供应商动态评价等维度，通过 AI 建模分析，智能调整审核流程。

## 5.2 工业互联网平台架构

企业应用工业互联网平台有自建模式和租用模式，究竟采用何种模式取决于企业所能承受的投资成本、自主可控性及是否要做平台经济等多个维度，应该在顶层设计阶段来确定。本章假定企业采用自主建设工业互联网平台。

### 5.2.1 工业互联网平台的设计方法

工业互联网平台本身是一个云平台，同时又区别于一般通用云的特点，因此在设计过程中可以参考云计算标准 GB/T 32199-2015、ISO/IEC 17789、《工业互联网平台通用要求 AII 001-2017》、《美国工业互联网平台参考架构 IIRA》、《工业 4.0 参考模型》（德国）。

按照参考架构模型，设计云计算一般要考虑到利益相关者，利益相关者的关注点及其相关业务活动。与之相对应的就是云计算平台所涉及的角色、业务活动及功能点。用

视图来表达就是用户视图、功能视图、实现视图、部署视图。ISO/IEC 17789 只定义了用户视图和功能视图。



图 29. 云计算参考架构 (CCRA) 视图

从用户视角来看有云服务的客户方、云服务的提供者、云服务的合作伙伴。在商业模式设计阶段要确定企业的工业互联网平台应该服务的对象，如果未来通过工业互联网平台实现平台经济，那么就应该是一个开放式平台，如果只给内部用，那么就是一个封闭式平台。因此在定义“客户”这个角色时，就有内部客户和外部客户之区分。而管理客户的重要区别点在于是否有计费功能、财务核算功能等。下图是云计算平台用户视图的抽象模型：



图 30. 用户视图抽象模型

下图是通用云计算平台参考架构功能抽象模型，服务层是云计算平台设计的重点，而根据 ISO/IEC 17789 定义服务分为基础架构即服务（IaaS）、平台即服务（PaaS）、软件即服务（SaaS）。

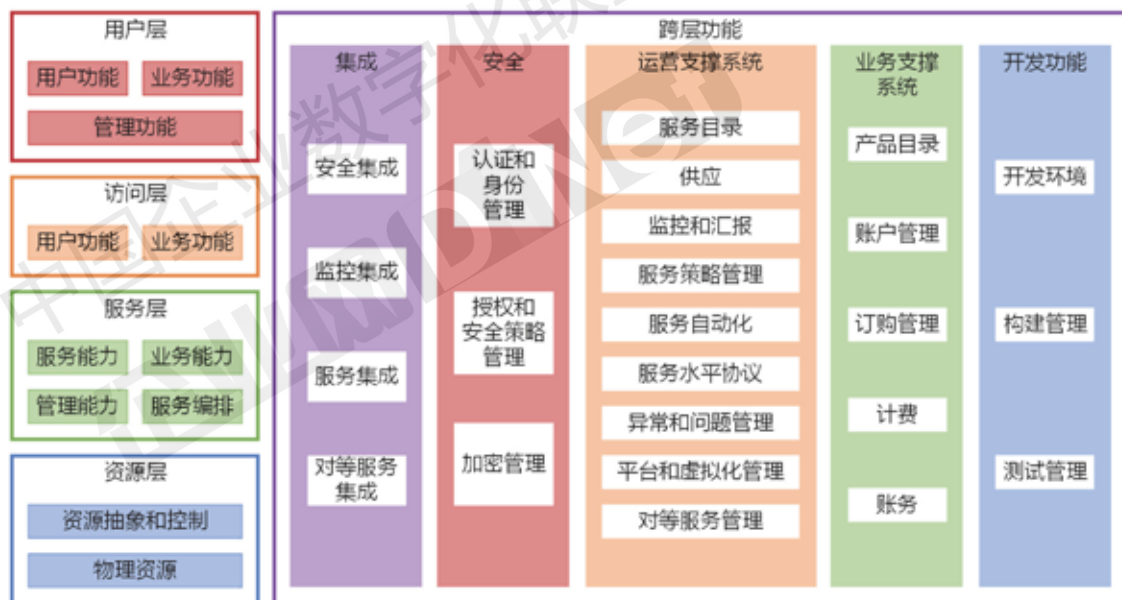


图 31. 云计算功能参考架构功能抽象模型

工业互联网平台和一般通用的云平台的主要区别在于服务层，而服务层又分为通用云计算服务层及与工业场景相关的服务层，而工业场景相关的服务层主要表现在工业 PaaS 层和工业 SaaS 层的差异性。因此工业场景相关的 PaaS 层和 SaaS 层是工业互联网平台设计的重点，也是核心价值点。

## 5.2.2 工业互联网平台 PaaS 层设计

工业 PaaS 层的设计方式可以参考通用 PaaS 层设计标准 GB/T 35301-2017。按照 GB/T 32400-2015 对 PaaS 的定义，“PaaS”就是为云服务客户提供云服务能力中的平台能力类型，而“平台能力类型”指的是云服务客户能使用云服务提供者支持的编程语言和执行环境来部署、管理、运行客户创建或者获取的应用的一类云能力类型。下图是通用 PaaS 功能视图。

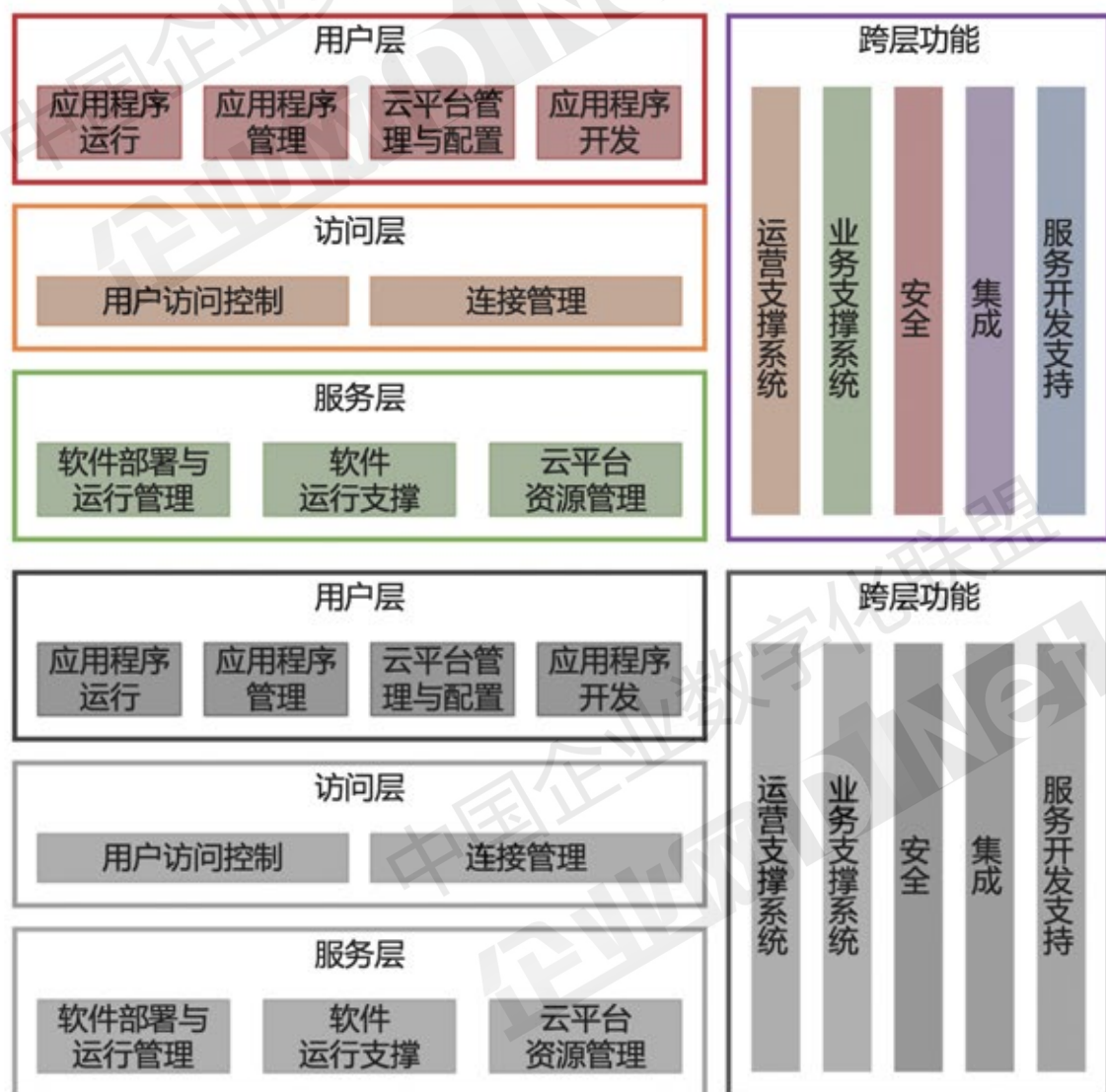


图 32. PaaS 功能视图

工业互联网 PaaS 层设计就是要丰富和完善服务层功能。工业 PaaS 的服务设计就是要使工业 PaaS 层提供一种针对某一类工业场景的通用的服务能力，使得工业 SaaS 的应用可以直接运行或者调用其提供的能力，简化 SaaS 的开发，降低开发周期和成本。例如对于设备健康管理这一场景，我们要抽取所有设备类型的共性部分，比如影响设备健康的关键部件模型，影响设备部件健康的要素模型，将这些模型的工业机理算法封装成 PaaS 功能供上层 SaaS 层调用，这样避免对每一种设备都重复去构建相同的机理模型。下图是工业 PaaS 层服务层功能视图模型：



图 33. 工业 PaaS 层功能服务层功能模型视图

### 5.2.3 工业互联网平台 SaaS 层设计

工业 SaaS 层是工业互联网平台的核心，它是以工业 App 的形式展示在工业互联网平台上，其重点是服务层服务能力的设计。工业 App 的设计要围绕行业和业务领域来展开，根据业务场景设计阶段识别的业务场景来设计应用。

工业互联网平台 SaaS 功能应该可以采用横向价值链模型（ISO62890）及纵向层级模型（ISA95、ISO62512），并参考德国 RAMI4.0 模型进行设计。下图是典型制造业价值链模型：



图 34. 典型的制造业价值链模型

广义的工业互联网平台 SaaS 层功能可以涵盖上图中所涉及到的所有价值域，狭义的工业互联网平台可以只覆盖生产执行过程所涉及到的场景。对于广义的工业互联网平台就是要实现业务场景的全覆盖，贯穿“横向到边，纵向到底”。因为很多业务场景是传统的信息化建设已经解决了，那么工业 App 重点要解决那些传统的信息化没有解决或者无法解决的业务场景。如传统的信息化系统在市场和销售环节并没有深度融入到客户层面，因此传统的 CRM 系统并不能解决个性化订单的定制问题。需要在工业互联网平台上扩展客户个性化定制功能，并且和研发设计系统紧密连接。传统的售后服务系统和客户的连接是弱连接，对销售出去的产品只能通过客户提供的信息来了解。可以通过工业互联网平台对销售出去的产品（尤其是大型工业设备）进行动态跟踪，实时掌握设备的运行状况，为客户提供更好的服务体验。

狭义的工业互联网平台重点考虑纵向层级的功能覆盖，下图是企业内部层级结构模型图：



图 35. 企业内部层级结构模型

企业不同的层级所涉及的利益相关者不同，关注点也不同，相应地在不同层级的功能点也不一样。下图是典型的某制造业从订单到交付的流程图，横向连接关注从销售订单到交付的端到端流程，纵向关注从生产订单到生产执行。从组织关注点来讲，企业关注从销售订单到交付的结果，工厂关注生产过程。



图 36. 某制造业从订单到交付流程图

工业互联网平台功能要覆盖横向从订单到交付，纵向从生产订单到生产执行的端到端流程，实现“人与人”、“人与机器”、“机器与机器”的协同。传统的信息系统只考虑到了生产计划系统（如 APS）和生产执行系统（如 MES）的连接，而缺乏和设备控制系统的连接，因此工业互联网平台核心要解决生产执行系统和现场设备的连接。生产执行系统（MES）的功能往上连接 ERP 系统，向下连接过程控制系统（DCS、SCADA、HMI 等）。通过 MES 实现了 OT 和 IT 层的融合。下面是典型的纵向连接图：



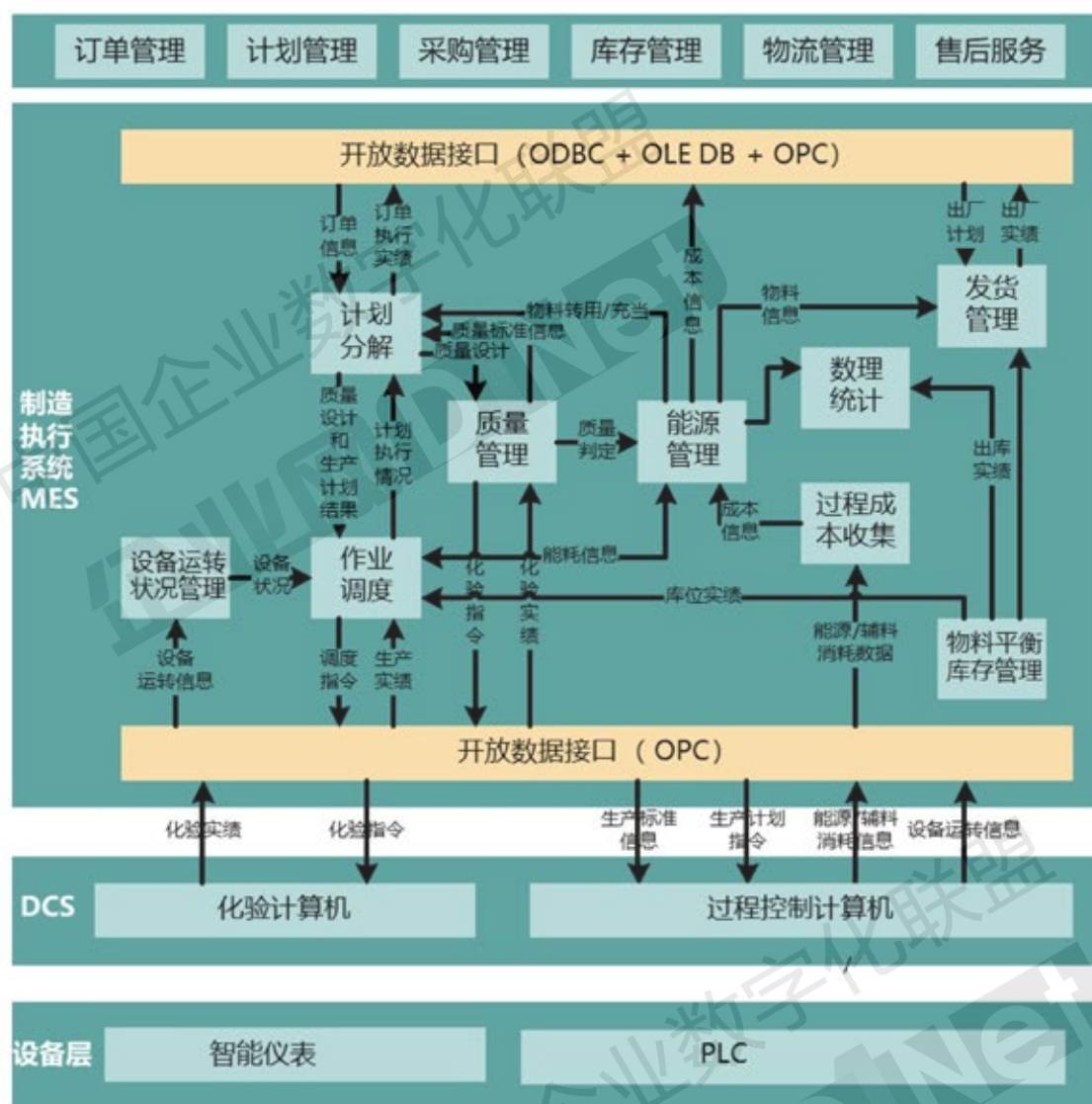


图 37. 生产执行过程纵向连接图

## 5.3 工业互联网网络体系

工业互联网的网络体系除了通用的网络外，重点要关注和工业领域特定环境相关的两个方面，第一是关于工业互联网标识解析，第二是工厂侧的网络。

### 5.3.1 工业互联网标识解析

现有的消费互联网是通过 DNS 来标识和解析互联网上的计算机，为了实现工业互联网中的设备、物品等关键信息的识别，同样需要一套标准和系统来进行标识和解析。工业互联网标识解析总体分为两大流派，一是以 DNS 为基础改进的体系，二是采用全新的体系。基于 DNS 改进的体系，其中以美国 GS1/EPC Global 组织针对 EPC 编码提出的 ONS 方案比较成熟。中国科学院计算机网络信息中心物联网异构标识解析 NIOT 方案，中国信息通信研究院的 CID 编码体系。全新的区别于 DNS 解析体系主要是数字对象名称管理机构提出的 Handle 方案。它采用平行根技术，实现各国共同管理和维护根区文件。现已经在 ITU（国际电信联盟）、德国、美国及中国设立了四个根服务器，既独立于 DNS 又可以和 DNS 兼容。下图是咱们国家标识解析服务器节点结构：

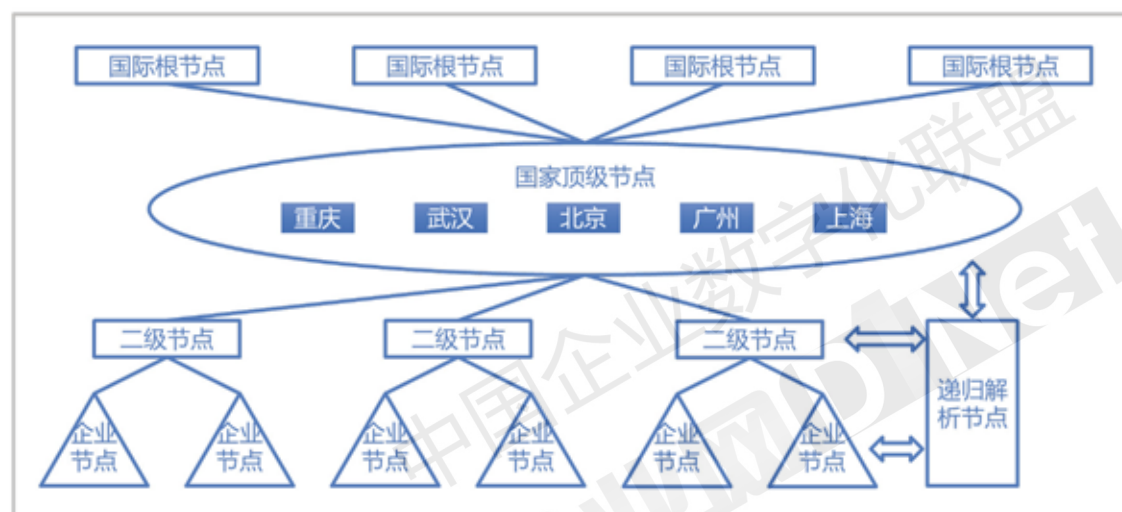


图 38. 标识解析节点

目前工业互联网的标识解析体系存在的主要问题是，一是功能方面，工业互联网的主体对象来源复杂、标识多样，异构兼容性和扩展性难以解决，二是性能方面，工业互联网的标识数据将远超现有的网络标识数据，对解析的高效性、可靠性及低时延性提出了很高的要求。

标识解析系统的发展趋势表现在三个方面，一是私有的标识解析向开放、公共的标识解析演变，二是多种标识解析系统将在一定时期内共存，三是公平对等是标识解析系统的重要发展方向，工业互联网的标识解析要改变现有互联网 DNS 的治理格局，域名解析长期掌握在少数国家手中，被少数国家所垄断，存在控制权的争议问题。

企业是否需要建立自己的标识解析二级节点，一方面要考虑本企业建立的工业互联网平台是否是开放平台，如果是开发平台要建立二级节点，如果只给本企业用，可以不需要建立二级节点；另一方面要考虑是否可以利用二级节点实现商业模式创新。消费互联网公司都是用一切手段来获取用户流量，如通过门户网站，搜索引擎、甚至无线路由器等，记得互联网兴起之初有一个网站叫“hao123”，就是把常用的网站链接做成一个页面，用户点击该页面就进入该网站，无需记住复杂的域名，大大方便了新手上网，后来这个“hao123”卖了很好的价钱。工业互联网时代也将演绎着同样的故事，如果我们利用标识解析二级节点抢夺工业互联网的入口，未来也许能带来很好的流量入口。很多企业都纷纷建立本行业的二级节点如海尔建立了家电行业的二级节点，顺鑫农业建立了农产品行业的二级节点。

### 5.3.2 工业互联网网络体系

工业互联网网络从技术通用与否分为通用网络和工业特定的网络，从网络地域范围分为局域网和广域网，从网络实施分为工厂内网和工厂外网。从层级结构上可以分为物理层、数据链路层、网络层、应用层等（如果按照 OSI 模型可分为七层），从使用的通信介质分为有线网和无线网。一般来讲，工厂边缘侧以外的网络采用通用的网络就可以，无需特殊考虑。下图是工业互联网的整体网络结构：

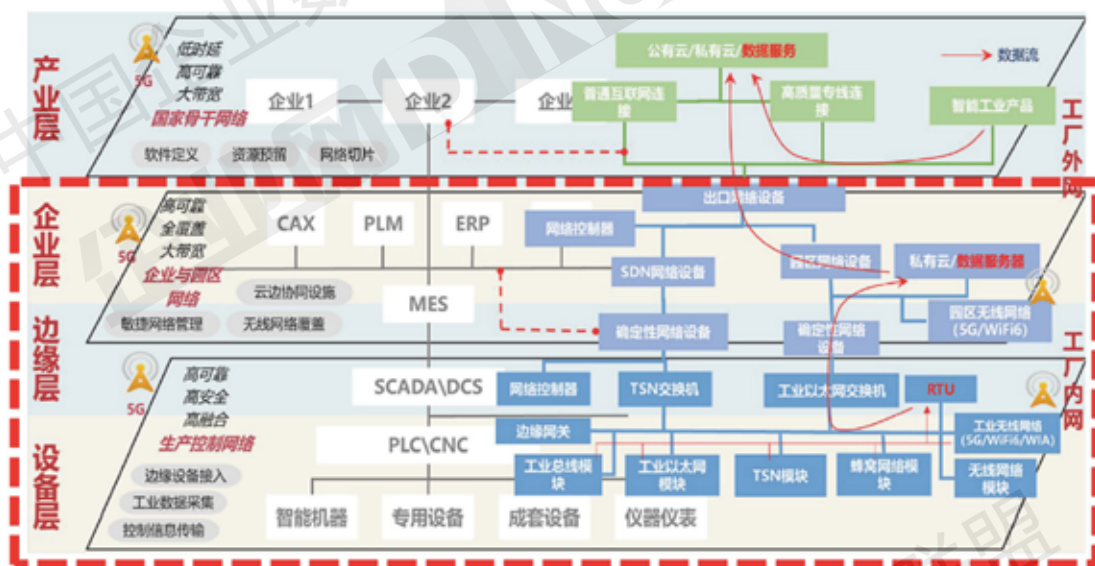


图 39. 工业互联网总体网络结构

工业互联网有别于现在的消费互联网就是能实现人机交互和人机协同，因此需要把“OT层（操作层）”和“IT层”打通，与此相对应工厂内部网络主要分为OT层的网络和IT层的网络。因为工业领域的特殊性，需要定义和开发工业网络标准及产品来支持，尤其是在OT层的网络。工厂OT层网络主要是用于把现场的控制单元（PLC、DCS、FCS等）、传感器、伺服器、监控器等连接起来。主要实现技术分为现场总线和工业以太网。在工业以太网的物理层目前有线传输大都采用PON和EPON技术，无线传输采用WIA-PA、Wireless HART、ISA100.11a、5G等技术。为了解决工业场景对高可靠性、低时延的要求，工业以太网在标准以太网基础上数据链路控层进行了改进，因此出现了EtherCAT、PROFINET、POWERLINK、CC-Link等协议，但这些协议在易用性和互操作性方面有不足，因此IEEE802工作委员会改进了MAC层协议，推出了TSN（时间敏感网络）。工业互联网的IT层网络还是采用通用的组网方式和技术。下图是典型的工厂“两层三级”组网模式：

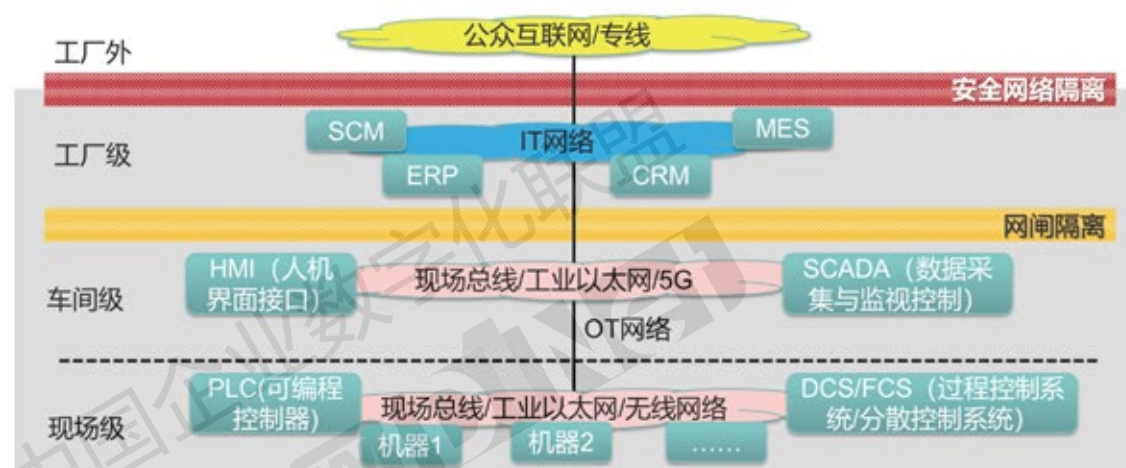


图 40. 工厂内网组网模式

现有的“二层三级”组网模式和技术体系存在很多不足，一是 OT 层的网络和 IT 层的网络标准各异，互联互通困难，二是这种组网模式不够灵活，很难适应产线调整和柔性制造的需要。

工业互联网网络总体发展趋势就是工厂内网组网扁平化，IP 化及无线化。网络扁平化就是要改变现在的分层结构，使智能设备之间横向互联，另外整个工厂智能控制系统扁平化。IP 化就是用工业以太网取代现场总线，用标准的工业以太网协议取代私有以太网协议，OT 层设备全部实现 IP 化，因此 IPv6 是必然的选择。无线化就是采用无线取代有线，这样大大地增强了组网的灵活性，在工业现场很多不便于部署有线，通过无线就可以触达。另外，无线组网更便于产线的调整，目前 5G+MEC 组网已经在智能化工厂改造得到了很好的应用。为了使信息流和控制流彻底分离，使网络的逻辑组网更加灵活，SDN（软件定义的网络）技术也将在工业互联网中得到广泛的应用。当然扁平化的网络组网模式给工厂侧的安全带来了很大的挑战，在没有很好的安全解决措施以前，目前大部分采用前面的组网模式。下图是未来的工业互联网内网组网模式：



图 41. 未来的组网模式图

2019年2月中国工业互联网联盟发布了《工业互联网标准体系2.0》，其中网络标准包含网络与连接、标识解析、边缘计算三大部分。已经形成和尚在制订中的主要标准见下表（只摘录了部分）：

序号	标准名称	标准号	标准级别	状态
1	工业以太网现场总线EtherCAT	GB/T 31230-2014	国标	发布
2	工业无线网络WIA规范	GB/T 26790.1~26790.2	国标	发布
3	工厂内网络 工业EPON系统技术要求	ALL/003-2017	联盟	发布
4	工业互联网 时间敏感网络技术要求	2018-1367T-YD	通信行业标准	制定中
5	工业互联网 基于SD-WAN的工业应用场景		联盟标准	待制定
6	信息技术 开放系统互连 OID的国家编号体系和操作规程	GB/T 26231-2017	国家标准	发布
7	工业互联网标识解析 装备 标识编码规范		联盟标准	待制定
8	工业互联网 边缘计算节点模型和技术要求 边缘控制器	2018-1664T-YD	通信行业标准	制定中
9	工业互联网 边缘计算节点模型和技术要求 边缘网关	2018-1664T-YD	通信行业标准	制定中

表 1. 工业互联网部分标准一览表

## 5.4 工业互联网安全体系

工业领域的安全一般分为三类，信息安全、功能安全、物理安全。传统工业控制系统大多关注功能安全和物理安全，即防止工业安全相关的系统或者设备失效。与传统的工控安全和信息化安全相比，工业互联网的安全更加复杂。它打破了以为相对清晰的边界，其范围、复杂度、产生的风险度要大得多，尤其是当边缘设备侧发生安全事件时，它可能会直接危及到人身生命安全。因此，传统的安全体系难以满足工业互联网对安全的要求，必须建立一套工业互联网的安全体系框架。

### 5.4.1 工业互联网安全体系框架

工业互联网安全框架是参考 OSI 安全框架、信息保证技术框架（IATF）、工业控制系统安全防护标准（ISO/IEC 62443）、美国工业互联网安全框架（ISF）基础上提出的安全框架模型。

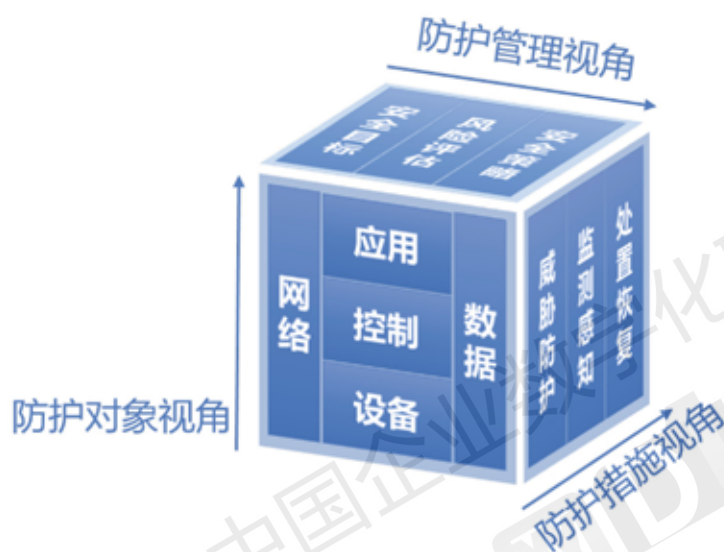


图 42. 工业互联网安全框架

工业互联网从防护对象、防护措施、防护管理三个视角构建，针对不同的防护对象采取不同的防护措施。其中防护对象包括设备、控制、应用、网络、数据。因为工业互联网涉及到 IT 层和 OT 层，IT 层的安全大部分通过通用的安全手段来解决，适应于通用的安全模型。因此，工业互联网安全所关注的重点就是与工业特定相关的安全，如设备层、控制侧及特定的工业应用、数据。在规划、部署、实施企业工业互联网安全时要综合考虑通用安全框架和工业互联网安全框架。

### 5.4.2 保护对象视角

工业互联网保护对象包括设备、控制、应用、网络、数据。设备包括工厂侧的单个设备、生产线等智能终端的安全，也包括智能设备的安全，涉及到嵌入式操作系统、控制软件的安全等。控制安全包括控制协议安全、控制功能安全、控制软件安全。网络安全包括工厂侧、车间侧、设备侧等企业内网、企业外网及工业标识解析系统的安全。应用安全包括工业互联网平台及工业应用软件安全。数据安全包括工业数据采集、存储、使用及销毁的全生命周期的安全。

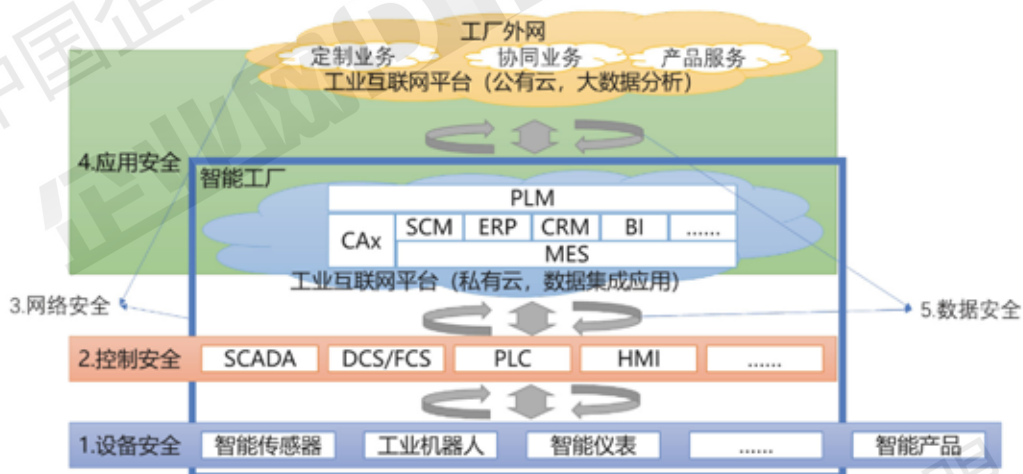


图 43. 工业互联网保护对象

工业互联网保护对象重点是关注设备、控制系统及工业数据。因为设备侧和控制侧的安全防护难度大，一旦发生安全事故造成的损失巨大，也许会造成人身伤亡及设备损坏，因此现在通常的做法是在 IT 层和 OT 层之间采用物理隔离或者工业防火墙和单向网闸隔离的方式。这种方式虽能降低安全风险，但也影响了互联互通，无法满足工业互联网纵向打通的要求。因此，企业工业互联网设计、实施的重点是在 IT 层和 OT 层之间如何构建有效的安全防护措施。按照安全感知、威胁防护、风险处置的机制处置。当然，设备及控制系统本身要没有安全漏洞。



## 5.4.3 安全防护措施

安全防护按照安全感知、威胁防护、风险处置的 PDCA 循环针对五大保护对象进行保护，工业互联网安全防护的重点是针对设备和控制侧，其它三类基本上通用的安全防护措施能覆盖。

设备安全重点是设备供应商自身在固件必须有安全防护措施，要能定期升级固件，修补安全漏洞，阻止恶意代码传播与运行，企业在选择智能设备时也需要评估设备厂商的安全防护能力，最好选择国产安全自主可控的厂商。

工业互联网使得设备、生产现场的控制由封闭走向开放，使得黑客有机会劫持系统控制系统，从而可能给企业带来很大的安全风险。控制安全主要采取如下防范措施：

### （一）身份认证

为了确保控制系统的命令来自合法用户或者设备，必须对发出指令的用户或者设备进行身份认证。在控制协议通信过程中一定要加入认证约束，防止攻击者截获报文伪装攻击。通用的安全防护措施对用户身份认证比较完善了，但对设备的身份管理是短板，在企业的工业互联网安全体系建设中要重点建立设备身份管理和认证机制。

### （二）访问控制

建立基于用户角色的访问及基于用户操作属性的访问控制模型。

### （三）传输加密

建立端到端的加密机链路，根据不同环境要求采用不同的加密方式。

控制功能安全要考虑功能安全和信息安全的协调能力，使得信息安全不影响功能安全，功能安全在信息安全的防护下更好地执行安全功能。

安全防护还包括网络、数据、应用，因为这些大都用通用的信息安全都可以覆盖，遵从通用的安全体系防护措施就可以。

## 5.5 工业互联网数据体系

数据是工业互联网的核心，是工业智能化发展的关键。横向贯穿于企业的外部上下游产业链，内部从销售订单、研发、采购、生产、交付、售后服务，纵向从生产计划到生产执行到设备控制、仪器仪表。按照数据的来源既有传统的企业经营管理类数据，也有工业现场的设备数据、控制指令数据，按照数据的存储方式有结构化数据、半结构化数据、非结构化数据。工业互联网数据有五大特征，一是数据量大，工业设备、仪器仪表采集的海量数据；二是分布范围广分布于机器设备、工业产品、经营管理系统等；三是结构复杂；四是对数据处理速度要求高，很多情况下要求实时处理；五是对数据分析的置信度要求高，尤其是工艺优化、设备预测性维护等应用场景。因此实施工业大数据有其特殊性，有不同于通用的数据处理框架。下图是典型的工业大数据功能框架，它由数据采集与交换、数据清洗、数据存储、数据分析建模、数据驱动下的决策与控制应用，在很多情况下需要数据的实时分析与处理。

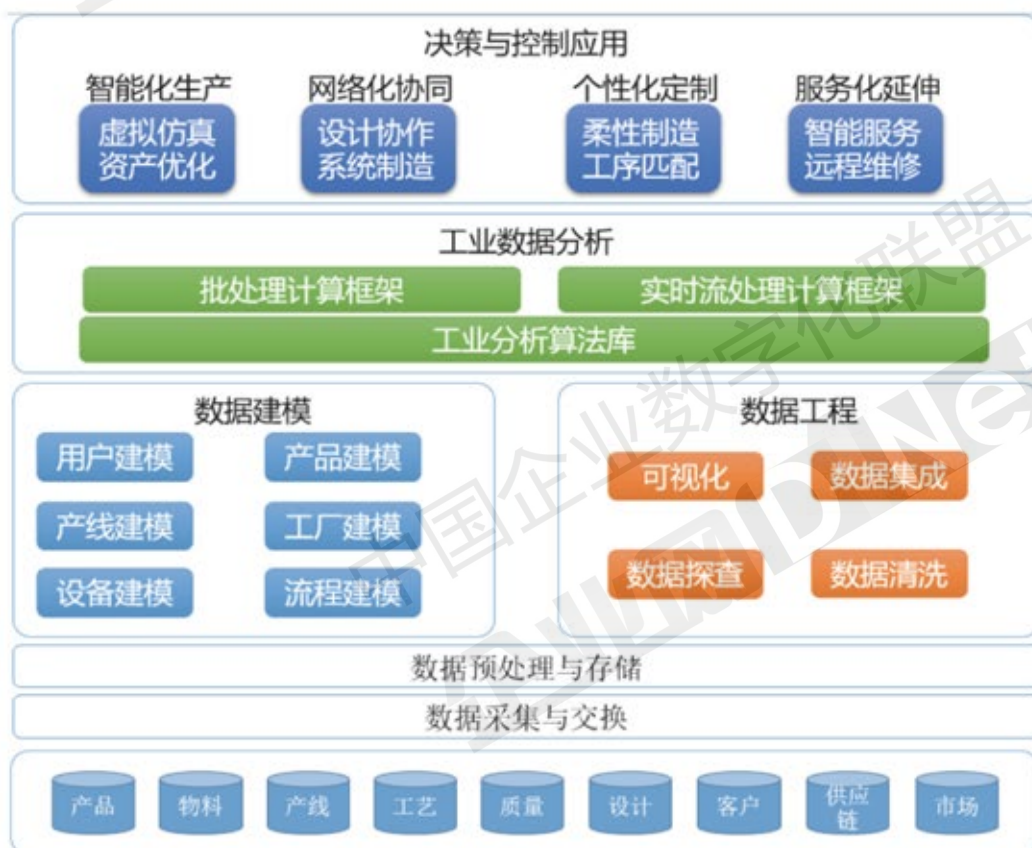


图 44. 工业大数据功能框架

## 5.6 工业互联网平台的部署框架

企业工业互联网平台部署架构取决于商业模式和技术要素。从商业模式来讲，如果平台的定位是开放式，服务于外部客户，那平台必然要作为一个公有云平台部署；如果只服务于企业内部，但需要和企业相关的供应链上下游打通，那么可以做私有化部署，并且通过互联网连接外部企业。从技术角度来讲，需要考虑设备侧、厂区侧、企业侧不同情况下对目标对象的响应速度及网络、服务器资源的实际情况，比如对实时要求很高的设备控制，要部署在离设备近的地方，形成边缘侧。到底离“多近”，取决于厂区的网络条件及控制对时延的要求。比如 TSN 网络比一般的工业以太网有更快的响应速度，5G 比 wifi 有更大的带宽和速度。总体来讲，工业互联网平台部署分成四层架构，设备侧、边缘侧、企业侧、产业侧。下图是工业互联网部署架构图：

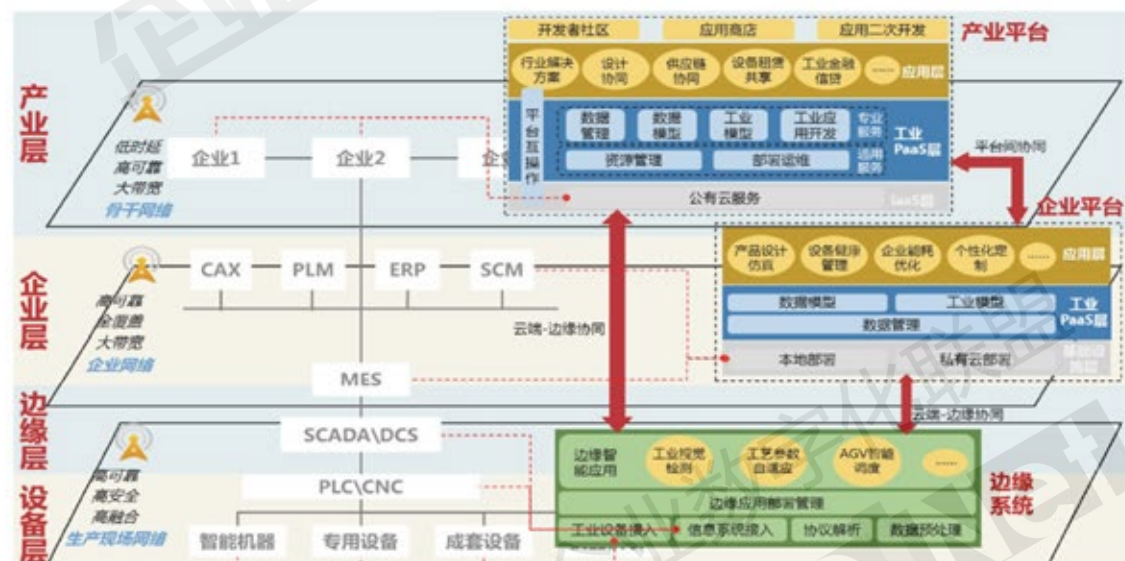


图 45. 工业互联网平台部署架构图



## 工业互联网发展趋势与展望

### 6.1 工业互联网网络发展展望

#### 6.1.1 工厂内网趋势

在工厂现场侧现场总线将逐步被工业以太网、TSN 网所取代，随着 5G 技术的成熟和成本的降低，传统的 WIFI 将被 5G 取代。工业网络的 IP 化趋势更加明显，将由 IT 层向 OT 层网络延伸。为解决大量设备的 IP 地址问题，传统的 IPv4 将被 IPv6 所取代，或者 IPv4 和 IPv6 并存。

随着安全防护能力的提升，在组网模式上将由 IT 层网络和 OT 层网络分层的方式变成 IT 网和 OT 层网络融合，使得网络扁平化，这样更便于工厂随时调整产线布局，适应柔性生产需要。同时，软件定义的网络（SDN）也将大规模应用。

#### 6.1.2 工厂外部网络

企业工业互联网平台不管是自用或者开放平台，必然涉及到和外部互联网的链接。现有的互联网是基于消费互联网时代的技术，对工业互联网的应用场景并不能很好的支持，如网络的稳定性、安全性及可靠性。

因此，企业外网的发展趋势将是在现在网络的基础上构建一张满足工业互联网要求的网络，并可对网络资源控制能力、软件定义的网络传输、端到端的质量保证等。

## 6.2 工业互联网安全发展展望

随着工业互联网的发展，安全的作用愈加凸显。传统的安全防御技术已经无法抗衡新的安全威胁，防御手段将由被动转为主动。一是态势感知将成为重要技术手段。借助人工智能、大数据分析等技术，综合关联分析预判安全趋势，提前采取相应的防护措施，做到动态感知，实时防护。二是内生安全防御成为未来防护的大趋势。系统本身的健壮比后来的修补更重要，因此加强对设备层、控制层、应用层、网络层本身的安全将是未来的趋势。通过对设备芯片和操作系统进行加固，查找和修改自身的漏洞，做到强身健体。三是工业互联网安全防护智能化将不断发展。对工业互联网的安全防护由被动响应式向智能响应式转变。旨在构建全面的预测感知、威胁防护、风险处置的智能化闭环管理。四是平台在防护中的地位日益凸显。工业互联网平台汇聚了企业的数据资源、应用系统，是工业互联网的核心。未来的防护将重点围绕平台。平台提供方和平台使用方之间的安全认证、设备和行为的识别、敏感数据共享等都是安全防护的核心。五是对工业大数据的保护将成为热点。工业大数据的不断发展，对数据分级、分类保护、审计和流动追溯、大数据分析价值保护、用户隐私保护等提出了更高的要求。未来对于数据的分类分级保护及审计和流动追溯将成为防护热点。

## 6.3 工业互联网平台发展展望

工业互联网本质上是工业技术与信息技术的融合，随着新一代数字化技术的发展，工业互联网平台将呈现以下趋势。一是基于平台的数据智能成为整个制造业智能化的核心驱动。大数据、人工智能等技术持续拓展数据分析应用的深度和广度，最终形成“泛在感知、敏捷响应、全局协同、智慧决策、动态优化”的生产组织方式。二是平台化架构将是未来数字化系统的共性选择，促使工业软件与平台加速融合。基于统一平台载体的数据集成管理和智能分析应用消除了信息孤岛。基于平台部署的订单管理、研发设计、仿真优化、供应链管理、生产计划和生产执行管理等软件工具，能够有效地降低企业数字化系统的复杂程度和投资成本，并构建全生产流程打通集成的一体化服务能力，驱动实现更加高效的业务协同。三是基于平台的应用开放创新。平台支撑工业经验知识的软件化封装，加速共性业务组件的沉淀复用，实现低门槛的工业应用创新，并吸引第三方开发者构建创新生态，从而能够支撑企业快速适应市场变化和满足用户个性化需求，开展产品服务创新、企业商业模式的探索，降低创新的风险。



## 工业互联网应用案例介绍

### 7.1 案例一：三一重工 18 号智能工厂

#### 公司介绍

三一重工产品包括混凝土机械、挖掘机械、起重机械、桩工机械、筑路机械、建筑装配式预制结构构件，其中泵车、拖泵、挖掘机、履带起重机、旋挖钻机、路面成套设备等主导产品已成为中国第一品牌，混凝土输送泵车、混凝土输送泵和全液压压路机市场占有率居国内首位，泵车产量居世界首位。18 号工厂是三一重工为打造世界一流混凝土泵送机械制造基地投资兴建的重大项目，主要用于泵车、拖泵、车载泵和搅拌机的生产。

#### 解决方案

通过工业互联网平台打通产品设计、工艺、生产计划、生产执行、交付的全流程。通过全三维环境下的数字化工厂建模平台、工业设计软件，以及产品全生命周期系统的应用，实现研发数字化设计与协同。通过多车间协同制造环境下计划与执行一体化、物理配送敏捷化、质量管控协同化，实现混流生产与个性化产品制造，以及人、财、物、信息的集成管理。基于物联网技术的多源异构数据采集和支持数字化车间全面集成的工业互联网，驱动业务协同和应用深度集成。通过新技术的应用，实现公共资源管理精细化，包括在制品跟踪定位、叉车定位、人员定位、设备资源定位。通过自动化立库、AGV、自动上下料等智能装备的应用，以及设备和设备的协同改造，实现人与机器、机器与机器之间的协同。利用信息系统，并借助于 PDA、PAD 等移动设备，支持检测数据的采集、以及质量体系的建设，利用 SPC 分析，提升产品质量。



图 46. 三一重工 18 号智能工厂整体架构图

## 实施收益

18 号工厂建成投产后，实现“产品混装 + 流水线”的高度柔性生产，具备 20 个工位、30 余种型号、年产 300 亿的生产能力。总体人均产值提高 24%，可比制造成本节约 1 亿元，直 6 供上线率提高 24%；在制品减少 8%，刀具消耗量降低 12%，线边缺件率降低 75%；对象质量信息匹配率 100%；物料齐套性提高 14%；单台 / 套平均能耗降低 8%；原材料库存降低 30%。

## 7.2 案例二：基于工业互联网平台的工程机械 UBI 车险

### 公司介绍

久隆财产保险有限公司（以下简称“久隆保险”）成立于 2016 年，是中国银保监会批准的服务于装备与装备制造行业的专业保险公司。久隆保险坚持走专业化、特色化道路。在特种车和装备制造保险领域深耕细作，稳健发展。久隆保险未来业务发展，将继续秉持专业性公司定位，以服务装备与装备制造业为战略核心，深入研究装备制造领域及物流行业风险保障的社会需求性、服务完备性、技术专业性，为相关行业发展保驾护航，为“中国制造 2025”国家战略和“一带一路”扎实服务。主要保险产品有设备损失保险、第三者责任保险、停工损失险、操作人员意外险。

### 解决方案

传统的保险保费定价是基于固定费率根据车辆的上年度的出险情况上下浮动，这种定价方式简单但不够科学，因为每辆车的状况不一样，每个驾驶员的驾驶习惯也不一样。国外广泛采用基于车辆使用量（UBI）核定保费的方式。UBI（Usage-based insurance）是基于使用量而定保费的保险，UBI 车险可理解为一种基于驾驶行为的保险，通过车联网、智能手机和 OBD 等联网设备将驾驶者的驾驶习惯、驾驶技术、车辆信息和周围环境等数据综合起来，建立人、车、路（环境）多维度模型进行定价。

久隆财险基于三一“根云”工业互联网平台，通过对设备的数据损失概率进行预测，在设备定价中将每一台设备运行数据作为定价变量来考虑，可以对每台设备提供更加准确、公允、动态的定价，帮助保险公司进行风险选择与精准定价。下图是工程机械 UBI 保险业务逻辑图：

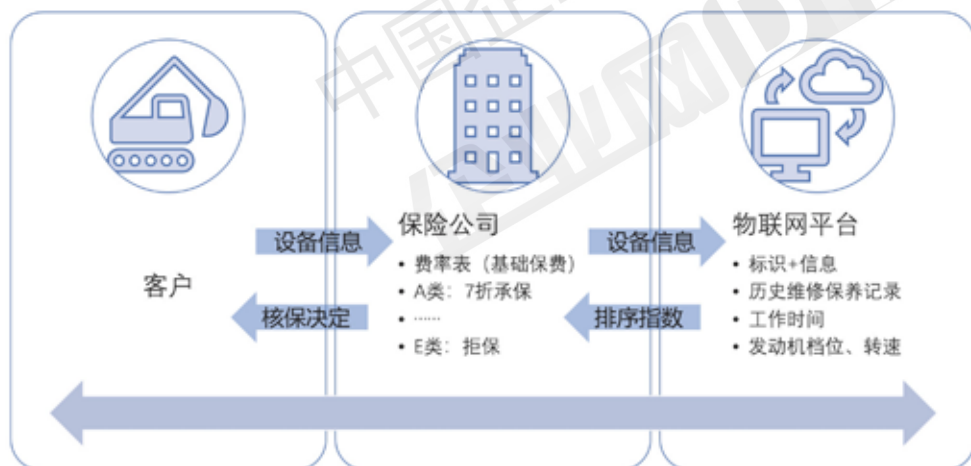


图 47. 工程机械 UBI 车险业务逻辑图



基于下表大数据分析可以看出，从保费规模、利润、承保机器数量出发，中挖是最“值得”开展业务的机器类型，小挖次之，大挖第三。加入承保投入和单均价值的考虑，中挖依然是最“值得”开展业务的机器类型，大挖次之，小挖第三。开展业务时，中挖和大挖应该拒保第九和第十档的业务，小挖应该拒保第十档的业务。对于开展业务的设备，其设备维修费用及利润比例都可明确分析与排序，并指导保险对于每一档进行精准定价。

中挖 - 将差于本类业务都拒保后					
	本组中挖平均 维修费用	剩余业务的平均 维修费用	删除的业务 量占比	删除后维修费 用减少比例	总利润比例
M1	11				
M2	36	11	0%	95%	1.8%
M3	34	68	0%	88%	1.6%
M4	38	26	0%	83%	1.5%
M5	43	54	0%	80%	1.0%
M6	92	33	0%	72%	1.3%
M7	60	38	0%	57%	1.0%
M8	17	28	0%	44%	1.7%
M9	53	62	0%	32%	1.8%
M10	32	95	0%	20%	1.3%
中挖平均	52				1069
*假设20%的费用率和5%的利润率					

表 2. UBI 车险比较表

### 实施收益

基于数据分析的保险定价比传统的定价方式更加精准，更容易吸引客户，同时也促使客户对设备的良好维护及良好的使用习惯，降低出险概率。对保险公司而言，提高保险收入，降低风险。

## 7.3 案例三：宝钢股份热轧厂利用工业互联网对轧机振动监测和抑制

### 公司介绍

宝山钢铁股份有限公司（简称“宝钢股份”）是全球领先的现代化钢铁联合企业，是《财富》世界 500 强中国宝武钢铁集团有限公司的核心企业。宝钢股份以“成为全球最具竞争力的钢铁企业和最具投资价值的上市公司”为愿景，致力于为客户提供超值的产品和服务，为股东和社会创造最大价值，实现与相关利益主体的共同发展。

在全球上市钢铁企业中粗钢产量排名第二、汽车板产量排名第三、取向电工钢产量排名第一，是全球碳钢品种最为齐全的钢铁企业之一。

宝钢股份 1580 产线投产于上世纪 90 年代，自动化、信息化建设基础较好，但与世界一流先进水平相比，产线自动化率、产品质量和关键消耗指标等仍存在差距，具有一定的改造空间。

### 主要问题描述

轧机是一个复杂的机电液耦合的大型系统，其动力学与各子系统间的耦合作用非常密切。在带钢加速和减速过程中，会不可避免地会产生共振。振动给生产带来许多问题，如会产生钢板厚薄不均，带来质量缺陷；加快设备轧辊的磨损，降低设备使用寿命；影响轧机生产效率，限制产能发挥，增加生产成本。

### 解决方案

通过工业互联网平台实时监测轧机和轧辊的转速情况，对针对信号进行实时分析处理，预判轧机状态及时给出抑振控制策略。

#### （1）轧机振动监测与数据采集

首先通过加装加速度传感器采集轧机振动信号，同时直接采集轧机主电机的转速、剪切信号等，送到边缘服务器对数据进行存储、处理、计算、分析等。

#### （2）轧机数据分析与抑振控制

当轧机机架表现出共振趋势或者振动级别超过一定程度时，给出相应的参考控制策略，向轧机控制系统发送命令来抑制振动，从而有效抑制振动危害。

### (3) 轧机抑振应用功能设计

对所监测的轧机振动数据进行分析整理，研究该轧机的振动发生规律，分析查找可能存在的影响因素。借助于本轧机振动监测系统持续的在线监测结果和历史数据存储，对现场振动数据进行分析统计，找出机组的主要振动特性，建立产生振动和相关因素之间的函数关系。

轧机振动原因分析，通过数据实现对导致轧机发生振动的原因追踪分析包括润滑状态引起的振动、轧辊故障引起的振动、来料问题引起的振动、其它因素引起的振动等。

振动抑制策略制定，结合轧机振动情况分析结果和现场实际生产工艺参数，初步判定引起轧机振动的主要因素，并通过采取生产工艺参数调整、乳化液参数调整、设备间隙调整、轧制负荷分配调整等手段来验证其对消除振动的效果。

### 应用场景的实施架构

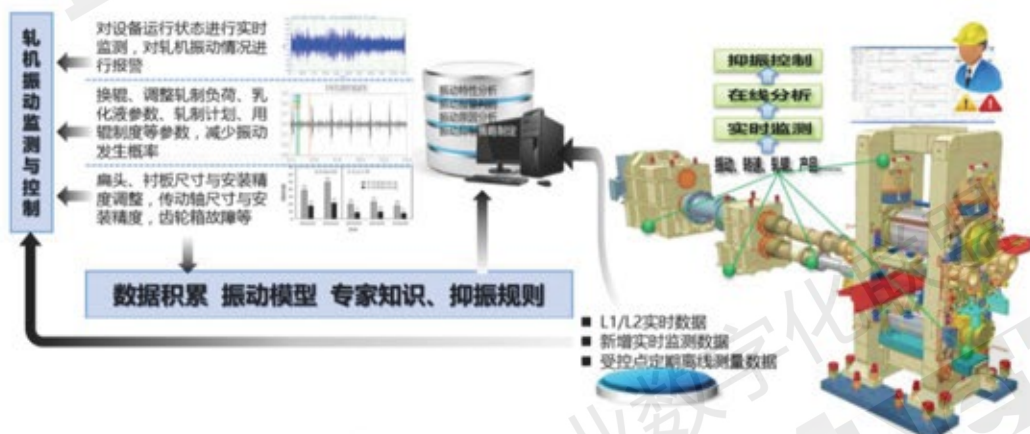


图 48. 轧机振动系统控制示意图

### 实施效果

系统正式投入运行后，该机组的平均振动次数下降了约 50%，避免或减轻振动缺陷，大大降低了对产品表面质量的影响；通过数据比对和分析，对振动纹缺乏做质量量化评价，改进生产工艺；对轧机状态进行实时监测，通过对关联数据的自相关性计算，实现辊系故障的自动判断；数据回放系统可以有利于相关产品缺陷信息的回溯。

## 7.4 案例四：海尔中德冰箱互联工厂

### 公司介绍

海尔中德冰箱互联工厂始建于2018年3月，定位是建设全球引领的高端超大型冰箱智能制造基地，工厂在建设初期便确立了“三联三化”的建设方针目标，即通过联全要素、联网器、联全流程实现互联工厂的网络化协同，目标建设成柔性化、数字化、智能化的工业4.0标杆工厂。

### 建设路径

海尔中德冰箱互联工厂内人、机、料、法、环等生产要素信息通过RFID、13000+传感器集成互联，完成人机互联、机机互联、机物互联，实现生产高效协同。通过联网器使工厂成为物联网的一个节点，能够通过网络自动感知终端用户的需求，从而提供更智能化、人性化的产品服务。

互联工厂通过联全流程，并联供应商和用户参与到产品的研发设计环节，可以使新品的研发更贴近市场需求，并且拥有反应敏捷的供应链，解决大规模制造与个性化定制的矛盾，实现大规模制造到大规模定制的转型。

另外，工厂的生产工序和产线经过柔性化设计，采用模块化一个流布局，基于用户需求类型自动匹配柔性化生产模式，快速满足11类个性模块1000+种用户定制方案。通过建设工厂大数据中心，集成了MES、WMS、SCADA、SPC、ITPM等应用系统的数据，构建工厂大数据运营中心，实现物流、能源、设备、质量、制造、运营六大维度互联互通，高效协同。

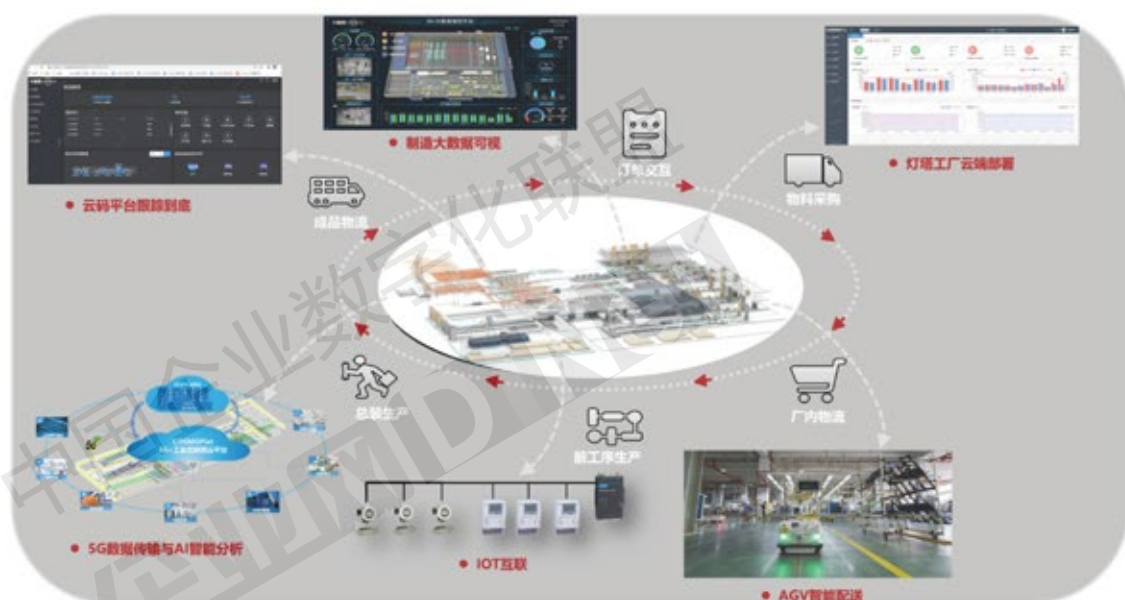


图 49. 解决方案拓扑图

工厂采用 AI 机器视觉 +5G 技术，在质量检测、尺寸测量、装配引导、条码识别等场景实现了智能检测、智能装配。通过 5G+AR 技术应用，实现了设备 AR 远程诊断、设备 / 工艺 AR 培训等。



### 效果达成

- 通过AR眼镜实现远程维修指导，短期快速维修设备
- 员工和专家一对一、可快速定位问题，提高维修效率
- 平均故障排除时间缩短60%，实现维修数据可追溯

## 7.5 案例五：天瑞水泥生产工艺的智能控制案例

### 公司介绍

天瑞水泥集团股份有限公司是国家重点支持的前三家水泥企业（集团）之一，是工信部重点支持兼并重组的五大水泥企业之一，也是首批被世界可持续发展工商理事会水泥可持续性倡议行动（CSI）接纳为成员的中国三家水泥公司之一。2011年12月23日，天瑞水泥在港交所主板成功上市。公司是河南省及辽宁省领先的熟料水泥生产商，是国家重点支持的12家全国性大型水泥企业（集团）之一。主要从事石灰岩开采利用和熟料、水泥、建筑骨料等建材产品的生产与销售。公司业务主要分布在河南、辽宁、安徽、天津等省市，拥有22条熟料生产线和62条水泥粉磨生产线，年熟料产能3519万吨，水泥产能5780万吨，熟料、水泥产能位居全国前列。其中2009年建成投产的郑州荥阳熟料生产线日生产能力超过12000吨，居于世界领先水平。

### 主要问题描述

新型干法水泥中控远程操作已经应用多年，各项操作参数互相影响，具有很强的逻辑关联性，不同的操作员由于水平参差不齐，使生产工艺参数波动大，进而对整条生产线的能耗、产量和质量造成影响，增加生产成本。

### 解决方案

天瑞水泥通过工业互联网平台实时采集工厂生产、质量和能耗数据，使用平台的生料磨智能引擎、烧成系统智能引擎、水泥磨智能引擎和煤磨智能引擎，使生产线运行更加稳定，降低人工工作强度，优化生产结果，节能降耗。

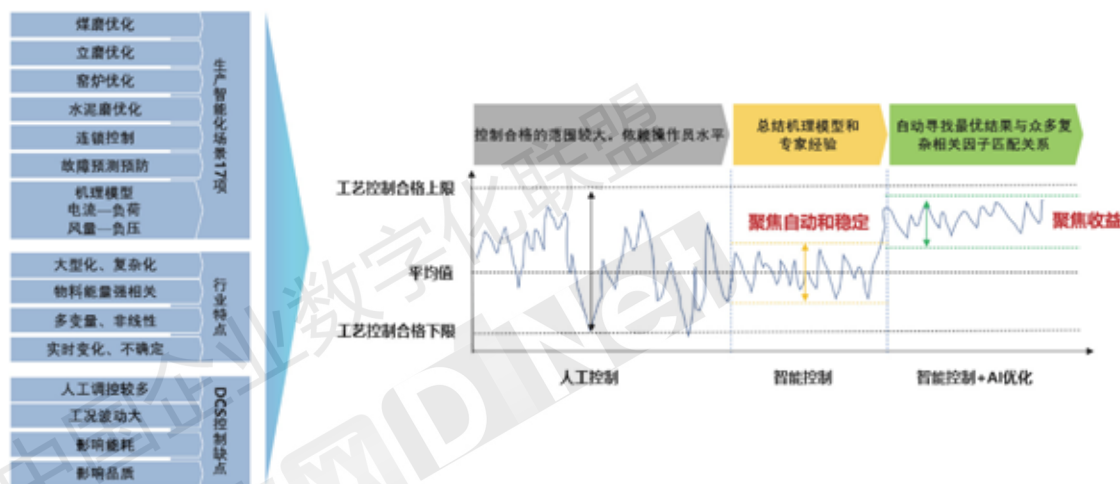


图 50. 三种控制方式对比图

**生料磨智能引擎。**通过控制生料进料量、选粉机转速和喷水量料层厚度等，实现磨机出口生料颗粒度的稳定，在满足颗粒度要求和磨机电流、研磨压力、磨机震动和压差等约束条件下实现产能最大化，降低磨机单位产品电耗。

**烧成系统智能引擎。**通过控制窑头窑尾喂煤量、生料喂料量、窑转速、引风机挡板开度或风机变频转速、窑头风机转速以及篦冷机各段篦速等设备，实现降低分解炉温度、窑头负压和篦冷机篦压等关键过程变量波动，稳定熟料游离氧化钙的波动，合理控制系统氧含量降低分解炉和回转窑的单位熟料煤耗。

**水泥磨智能控制引擎。**通过控制进料量、选粉机转速、辊压机仓压等，实现磨机出口水泥颗粒度的稳定，在满足颗粒度要求和磨机电流和压差等约束条件下实现产能最大化，稳定成品质量，减少熟料的掺量，降低磨机单位产品电耗。

**煤磨智能引擎。**通过对煤磨出口温度和进口温度定点控制，调节冷风阀、热风阀、喂煤量，保证煤粉收集及煤粉仓内的温度稳定，消除煤粉自燃和爆炸的安全隐患。

## 实施收益

系统实施后，稳定了生产过程，以天瑞集团南召水泥有限公司 4500t/d 的水泥熟料生产线的运行数据进行统计，智能控制比人工控制的温度范围在稳定区提升 28.7%，在波动区降低 84.18%，如下图：

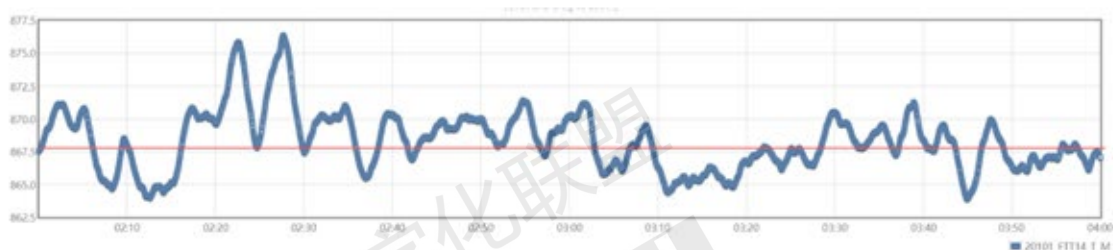


图 51. 智能控制曲线图

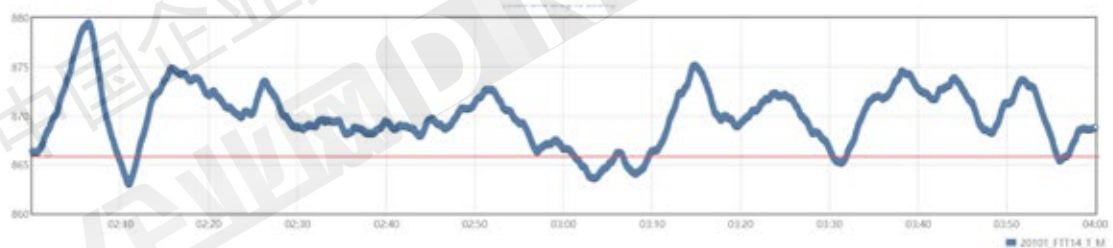


图 52. 人工控制曲线图

同时，能源成本得到降低，熟料标准煤耗降低了 1.8%，熟料工序电耗降低了 1.5%；产品质量得到提高，游离钙标准偏差下降率达到 10.71%，熟料三天强度提高 1.2MPa，熟料 28 天强度提高了 0.8MPa。

中国企业数字化联盟  
企业网DINet



## 7.6 案例六：四川品胜电子标识解析应用案例

### 公司介绍

成立于 2009 年的四川品胜电子有限公司（以下简称“品胜电子”）是一家致力于移动数码电池、存读取系列、充电系列及周边防护产品研发和制造，集科、工、贸为一体的高新技术企业，在移动智能周边设备（移动电源、数码 3C 配件、智能硬件等）领域的研发、工艺制造水平处于全国领先地位。

### 主要问题描述

**质量方面：**产品从原料、生产过程到营销过程缺乏信息资源共享，质量无法准确跟踪和追溯，各系统数据关联性不强，各种形式数据并存，增加质量管理难度，不利于产品质量和成本管控。

**营销方面：**营销过程中出现了产品窜货、经销商管理困难、假冒伪劣产品、产品防伪管理难、与终端用户互动不畅等问题。

**设备方面：**设备种类较多，也不能及时反映设备各种状态。

**技术方面：**电子产品行业实行工厂代商家管理货物方式，工厂既要发整货也要发散货，每一件商品都要经过扫码发货以达到追溯的目的，这给技术人员带来很大挑战，需要不断测试及更新来满足需求。

### 解决方案

项目于 2018 年 1 月启动共计耗时 23 个月，完成了基于一物一码的产品生产全过程数字化管控能力建设。项目主要分为云码系统应用平台及客户端开发、ERP 系统升级与接口开发、生产流水线与自动化改造、工艺流程增加与优化和设备引进几个方面。

云码工业互联网标识解析应用平台是以密码技术为核心、二维码为载体，基于移动互联网、智能终端和 APP 软件，实现对产品的全流程监控、消费者对产品的全程追溯、品牌与消费者之间的全方位互动、对经销商服务的管控，解决企业生产、销售、宣传、防伪、促销、窜货、溯源、服务、质保、售后等痛点、难点问题。利用先进的物联网技术和工具，通过二维码对单个产品赋予“身份证”，通过一物一码，对产品的原料、生产、仓储、物流、营销、市场巡检及消费者等环节进行数据采集跟踪，推动数字技术在企业的广泛应用，打造新的核心竞争力，驱动业务发展与模式创新，实现原料环节、生产环节、销售环节、流通环节、服务环节的产品全生命周期管理。

云码系统由品胜电子自主研发，包含应用平台、查询小程序及各类客户端（采集、关联、打码等）。系统由商品管理、生产线管理、防伪码管理、追溯管理、质保服务、售后管理、会员管理、营销工具、系统管理、发货管理等模块组成，实现二维码生码、在线打码、生产赋码、关键信息绑定、产品内外码及箱码信息关联、防伪管理、溯源管理、质保管理、出入库管理、售后管理、会员管理、营销管理等，满足各业务场景的需求。

**ERP 系统升级与接口开发：**通过 ERP 新版本的升级实施、流程优化（如：MRP 运算流程、出入库流程）等，构建新的管理模式和业务场景，为品胜电子多品种、小批量的生产模式提供信息化解决方案；开发云码系统与 ERP 系统的接口，实现系统的数据集成与共享（如：订单信息、商家信息等）。

**生产流水线与自动化改造：**根据项目需求对生产流水线进行调整与改造，部分工序进行了自动化改造，如：激光镭雕自动赋码、包装扫码关联、自动贴码等。

**工艺、流程新增与优化：**计划部增加生码流程；采购部增加采购空码印刷采购流程；生产对工序、工艺进行调整优化；品质增加质检流程；仓库优化出入库流程，全部产品扫码出入库。

**设备引进：**进行自动贴标机、喷码机、工业一体机、扫码枪、标签打印机、工业平板、PDA 等设备引进，激光镭雕设备引进或自动化改造，流水线改造，企业级无线网线覆盖等。为基于一物一码的产品生产全过程数字化管控能力奠定了基础。

项目总体实施方案

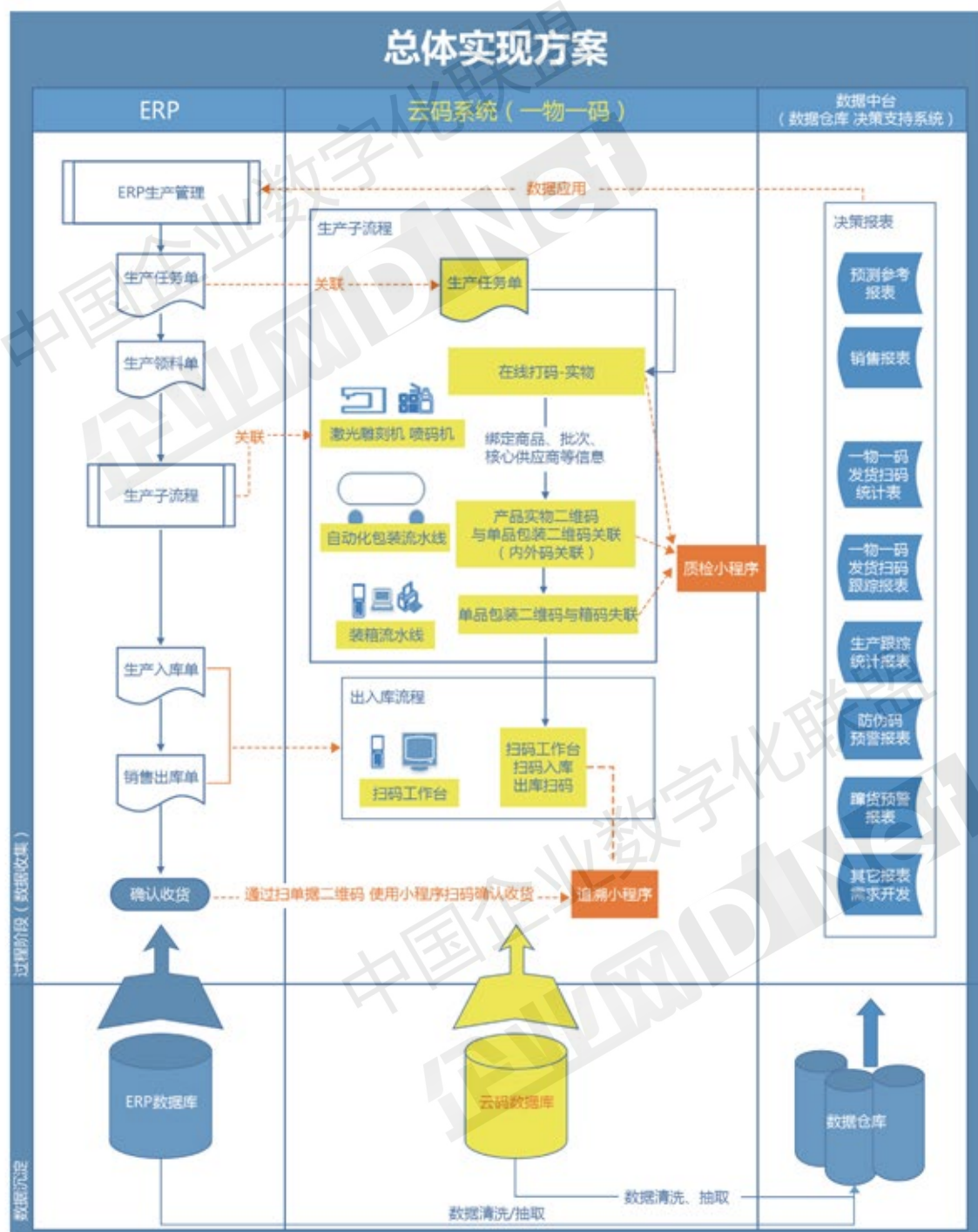


图 53. 总体方案图

### 标识解析系统设计

2020年6月，该平台已经实现与国家工业互联网标识解析平台对接，实现溯源等管理，基于标识进行任意产品的产品溯源链条的信息调取与数据展示，包括产品基本信息（名称、类型、生产商、生产时间、使用手册及其他信息等），加工环节信息，组装环节信息，包装环节信息，运输环节信息，销售环节信息，用户信息。根据时间信息，进行全流程溯源。



图 54. 标识解析系统



图 55. 应该功能图

(1) 应用系统层，展示平台涉及的各子系统及客户端，包括租户、经销商管理后台、在线打码系统（客户端）、在线采集系统（客户端）、产品追溯查询系统（小程序）、防伪管理系统；

(2) 平台业务层，系统核心管理功能包括生码管理、生产管理、防伪管理、追溯管理、营销管理、数据决策分析等；

(3) 平台用户层，涉及应用该平台的核心用户；

(4) 国家工业互联网标识解析（成都）节点，提供标识注册、标识解析等功能。

## 应用价值

该项目的建设对提高企业经营管理水平和竞争力的重大意义体现在以下几个方面：

### ■ 生产管理

在产品生产过程中对产品关键物料、生产过程信息、流水线、人员等信息进行了绑定，产品码、包装码、箱码进行关联，无论通过哪个码都可以查询到相应的信息，有利品质管控；通过扫码出入库管理，使商品流转信息透明化，优化了复核流程，避免了仓库发货出错等问题；通过流程优化和自动化改造，大大提升了产能和效率，降低了生产成本，提升产品竞争力。项目的整体建设让生产管理更高效、透明，降低了管理成本，提升了生产管理水平和竞争力。

### ■ 重新定义营销场景

让每一个产品都成为连接用户的连接器，结合内容营销为用户提供可以消费的文化，让其成为品牌共建者，让品牌实现“商品即媒介，扫码即连接”。

促销流程优化，发掘用户终生价值，提升用户复购率，精准营销，个性化奖励计划，跨品类营销等，激励用户主动传播，加强品牌认知，积累用户数据资产，为深刻洞察用户与精准营销提供数据支持。

溯源、防伪、监控窜货、渠道管理、二级分销、质保、售后、服务、大数据分析等应用场景。

### ■ 带动观念创新

信息化技术进入企业管理和 workflows 后，极大地提高了工作效率，改变了传统的管理模式，打破了一成不变的工作方式，使得企业员工必须以新的思维来工作，带动员工思想意识转变和观念全面创新。

### ■ 改变管理模式

重新设计企业内部业务流程，用计算机程序控制替代了一部份职能，使得各部门的职能重新调整、归并，推动传统管理格局转变，提升管理效率，降低管理成本。视讯会议、语音系统让办公应用更加便捷，管理效率更高，反应更加敏捷。

### ■ 优化管理流程

通过标识解析系统将企业和客户、供应商等紧密结合起来，完成信息流、物流和价值流的有效转移与优化。通过 ERP、CRM、OA 等建设，实现企业内部生产管理、客户管理、物流管理等功能全面集成优化，实现统一有效的协同工作平台，从而优化企业管理流程和水平。

## 参考文献

- [1] 美国工业互联网参考架构 1.9
- [2] 日本工业互联网参考架构 IVRA
- [3] 德国工业 4.0 参考架构 RAMI4.0
- [4] 中国工业互联网参考架构 2.0
- [5] 中国工业互联网标准 2.0
- [6] ISO62890、ISO62264 标准
- [7] GB/T 32399-2015 云技术参考架构
- [8] GB/T 36327-2018 平台即服务应用程序管理要求
- [9] 《中国数字经济发展白皮书 2021》中国信通院
- [10] 《全球数字经济新图景 2020》中国信通院
- [11] 《经济发展理论》约瑟夫·熊彼特
- [12] 《竞争战略》迈克尔·波特
- [13] 《竞争优势》迈克尔·波特

## 版权声明

本白皮书所有内容版权与解释，归中国企业数字化联盟、企业网 D1Net 和信众智 CIO 智力共享平台联合所有。

未经书面许可，任何公司及个人，均不得使用本书中数据用于商业行为。

有意转载或合作，请联系中国企业数字化联盟秘书处。