



智造新主线 两化新模式

“CPS HUB”为基础、“物联网+应用平台”为核心，
重塑智能制造体系



创新研发 卓越制造 敏捷服务 智慧管理



解析大国制造战略

——以 I²OT 融合为核心的两化新思维

探索中国智造体系

——以 CPS HUB 为基础的四种新模式

编者按：智能制造是美、德、中等制造业大国的未来主攻方向，如何正确地理解智能制造，并正确地规划和建设适合企业自身发展的智能制造体系，成为目前制造业企业面临的主要挑战。本文对美、德、中的制造业发展战略及智能制造体系进行详细解读，以“CPS HUB”为基础、“物联网+应用平台”为核心，提出智能制造的应用框架，并对智能制造未来业务蓝图进行了展望，最后给出了实施路径参考。

新主线

智能制造不仅仅是一些先进技术的组合，也不仅仅局限在生产制造的业务领域。其体系是以融合了当前最新技术，贯穿研发、制造、客户服务等端到端价值链的全新业务主线。

新体系

智能制造体系需要一个新的应用体系提供支撑，以打通横向供应链、纵向企业各层次、端到端价值链等多个方面的集成，在实现互联互通、虚实映射的基础上，快速构建新主线的业务体系。

新模式

企业战略决定商业模式的方向，智能制造新应用体系决定商业模式的创新实现基础。智能制造体系将从创新研发、卓越制造、敏捷服务、智慧管理四个方面，推动业务模式的转型升级。

大国制造业发展战略及目标

实体经济空心化、虚拟经济比重过大成为欧美发达国家的严峻挑战。美国、德国、英国、法国等发达国家各自提出了“再工业化”战略，以振兴制造业，重新占领价值链高端。

中国已经成为制造业大国，但是存在高端制造业竞争力不足，并面临发达国家“高端回流”和发展中国家“中低端分流”的双向挤压。为此，中国提出了“中国制造2025”战略规划，推进制造强国建设。

制造业是立国之本、兴国之器、强国之基。信息化驱动新工业化是共同特点。

美国、德国、中国等国家的制造业发展战略的核心是借助信息化的新技术手段，打破传统的制造业发展模式，重塑制造业体系和行业边界，并拓展新的商业模式，从而占领价值链高端。经分析得出，虽然各国发展重点有所不同，但是均具有如下的共同目标：

两个核心

1) 围绕客户为中心

当今市场已经由以产品为导向的模式，逐步转变为以客户为导向的模式，快速响应客户需求、研制高质量智能产品、提供差异化和个性化服务成为企业的核心竞争力和新的利润增长点。在满足客户个性化需求方面，工业 4.0^[1] 中特别强调允许在设计、配置、订购、规划、制造和运营等环节能够考虑到客户的特殊需求，并且即使在最后阶段仍能变更需求；在客户参与方面，客户可以对产品研制的过程进行全程参与、互动和优化；在产品服务方面，产品即服务的模式成为一种趋势，智能互联产品成为价值传递的载体，使得制造商可以持续为客

户提供价值，并从中获利。

2) 交付智能互联产品

制造业战略的最终目标是打破传统产品定义与竞争的限制，使企业能够交付满足客户定制化需求的智能互联产品，并依托智能互联产品为客户 提供智能互联的服务。在为客户实现价值的同时，也为制造企业带来新的竞争力。智能互联产品可以是物理产品，也可以是联接产品的系统。

三个转变

1) 重塑行业边界及产业结构^[2]

随着产品特性的不断变化，使得制造企业具备了向体系化发展的基础。未来行业的边界将不断扩展，行业竞争的基础将从单一产品的功能转向产品系统的性能，进而发展为包含不同子系统的产品复杂体系，而单独的企业只是其中某个系统的一个参与者。

新的产品复杂体系将重塑传统的产业结构，以建立体系化运作结构、新竞争格局和新商业盈利模式。这将成为制造业企业进行战略选择和业务转型的出发点。

2) 构建新的技术体系^[2]

如何围绕客户为中心、提高客户服务满意度？如何构建或融入新的产品复杂体系？如何帮助企业在产品复杂体系运作中脱颖而出？传统的技术基础设施仅能满足产品导向型研制模式和单一产品而非产品体系化运作机制，难以解决上述问题和挑战。为此，企业需要借助最新的物联网、大数据分析、云计算、增强现实等技术，构建全新的技术体系，以支撑服务转型、

大国制造业发展战略的共同目标：围绕客户为中心，重塑行业边界及产业结构，借助新技术体系，实现价值链活动的转型升级，交付智能互联产品，占领价值链高端。



图 1 大国制造业战略共同目标

构建智能制造体系是大国战略下制造业企业共同的主攻方向

行业边界扩展和产业结构优化。

3) 实现价值链活动转型升级^[3]

传统的业务及技术体系，聚焦在产品研制，并支持研制各环节的集成、协同和信息共享，以提高研制效率和质量。未来新的技术体系将打破传统的面向单一产品、单一环节（设计、制造、服务等）的技术支撑环境，从全体系层面考虑虚实资源的整合，并以此为基础构建以客户为中心的全新业务模式，从而重塑价值链中的研发、制造、客户服务等活动，推动企业业务转型升级。

对智能制造体系的理解

制造业企业的持续竞争力主要来自于成本、交付能力、柔性、质量等要素^[4]，智能制造就是利用先进的技术和方法，以最大化综合优化上述要素^[5]。因此，智能制造是一个复杂的生态体系，并具有跨领域、跨行业、高度集成、系统融合等特点^[6]。结合中国、美国、德国对智能制造体系框架的描述，给出如下对智能制造体系内涵的理解：

- 智能制造覆盖全流程业务体系：智能制造不只是涵盖狭义的生产制造环节，还包括研发、运营、服务、报废等全生命周期环节；不只是聚焦在智能设备，还包括车间、企业、企业联盟、外部资源等多层次业务；不只是关注生产效率，还关注产品质量、客户响应敏捷度、可持续性（绿色制造等）、项目计划、成本等综合要素。

不同的发展基础，决定了制造业大国不同的出发点和不同的技术举措。但是，在制造业企业层面构建智能制造体系是满足制造业发展战略共同目标的共同方向。

	美国先进制造业发展计划	德国工业 4.0	中国制造 2025
发展基础	制造业信息化水平全球领先，尤其在软件和互联网方面，全球 10 大互联网企业占有 6 个。	工业自动化领域全球领先，精密制造能力强，高端装备可靠性水平高。	制造业总量大，水平参差不齐。互联网应用基础好，全球 10 大互联网企业占有 4 个。
战略重点	关注设计、服务等价值链环节，强调智能设备与软件的集成和大数据分析。	着眼高端智能装备，通过 CPS (Cyber-Physical Systems，赛博物理系统) 推进智能制造。	提高国家制造业创新能力，推进信息化与工业化深度融合，强化工业基础能力，加强质量品牌建设，全面推行绿色制造。
重点方向	加大技术创新投资，建立智能制造体系，培育“再工业化”主体。	建立智能工厂，实现智能生产。	将智能制造作为主攻方向。
技术举措	工业互联网	CPS	互联网 +，两化融合

表 1 美、德、中制造业发展战略对比

• 智能制造需要新应用体系支撑：传统的工业软件重点解决信息孤岛问题，以实现企业内或企业间的协同、共享和集成；传统的工业自动化控制系统则重点解决数据采集及自动化控制问题，以实现智能设备的自动化生产。工业软件与工

智能制造是先进信息技术与先进制造模式融合后构建的先进制造体系，包括业务体系、技术体系、组织体系。基于该体系，可以推动产品智能化能力增强、软硬件装备水平提升、业务模式创新、产业及组织结构优化。

业自动化控制系统之间缺乏有效整合，而智能制造将借助物联网、大数据、增强现实、虚实映射等新技术，重新构建新的应用体系以实现二者的快速融合及柔性调整。

- **智能制造催生业务模式创新**：智能制造不是在传统业务模式上的新技术引入，其目标是引入先进技术、先进理念和方法，以推动业务模式的转型升级，也催生一些新的业务形态，从而创造制造业企业和行业的新价值增长点。新的模式如：产品即服务（Product as a Service, PaaS）、众创、个性化定制、云制造、远程运维等。

- **智能制造推动组织体系变革^[3]**：智能制造价值链体系上的业务活动及管理流程将发生历史性的变化，各部分的职责定位及协作流程也将随之变化，并使得组织体系不断进化。如：大数据中心管理需要新的业务部门，传统的IT部门也需要与设备运营管理等部门进行整合，产品运营方式的转变也需要新的客户服务部门提供远程运维等。

智能制造应用体系及其共性特点

推进智能制造的目标是打破传统业务体系，催生新的业务模式，推动企业的业务转型升级，这势必

将对应用体系进行重新地构架和边界定义。而传统的信息化应用体系由端到端的业务应用系统（PLM、ERP、MES等）组成，这些业务应用都具有明确的定位和界面关系，其建设重点是打通上述应用环节，重点解决协同、共享和集成的问题，以实现信息流、物流、资金流的顺畅流转。如何打破上述传统应用之间的固化定位，构建面向智能制造的未来应用体系成为实施智能制造的先决条件。

目前，美、德、中智能制造相关的技术研究及标准制定机构从应用体系构建和落实层面已经形成了一定的成果，现分别分析并进行共性提取，以明确智能制造应用体系的构建方向。

1) 美国工业互联网架构

美国工业互联网联盟 IIC 发布的工业互联网参考架构 IIoRA 中给出了未来工业互联网系统的三层技术架构，如图 2 所示。

- **边界层（Edge Tier）**：该层集成资源、边界设备、传感器和控制系统等边界节点，并从边界节点收集数据。边界节点可以利用边界网关实现不同类型网络之间的交互。

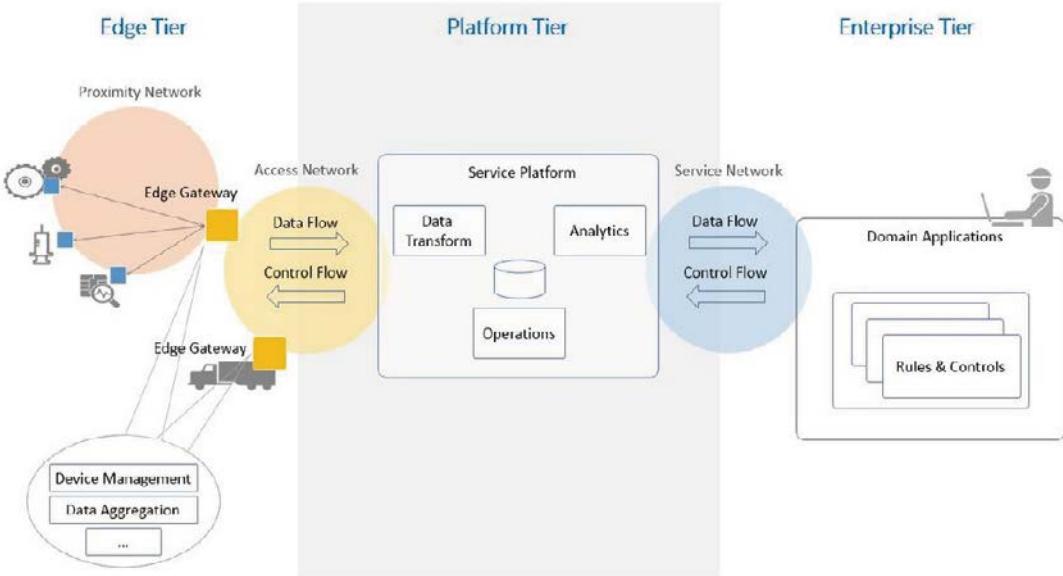


图 2 美国工业互联网技术架构^[7]

• 平台层 (Platform Tier) :

该层主要实现资源集成、数据分析、大数据管理等，并通过应用使能平台支持看板、提醒、通知、移动APP、GUI（图形用户界面）的创建。该层除了获取边界层资源及数据外，也支持与边界层的控制数据交互。

• 企业层 (Enterprise Tier) :

该层主要实现专业领域级的应用、决策支持系统，并为终端用户提供基于角色的应用界面。该层从边界层和平台层获取数据，并产生控制数据传递给边界层和平台层。

结合参考架构以及图 4 的技术架构，可见德国工业 4.0 同样强调资源聚合、服务封装以及对新业务模式的支持。

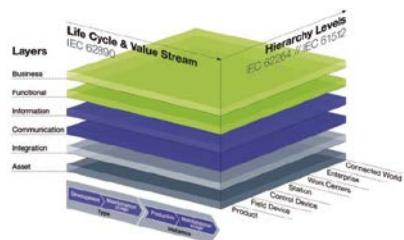


图 3 德国工业 4.0 参考架构^[8]

2) 德国工业 4.0 架构

德国中央电子技术与电子工业协会 ZVEI 给出了德国工业 4.0 的参考架构，如图 3。该架构从业务、功能、信息、通讯、集成、资源六个层次，对生命周期和价值链、企业垂直层的标准体系进行了分类。

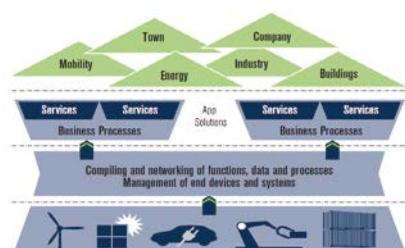


图 4 德国工业 4.0 技术架构^[1]

3) 中国智能制造系统架构

工信部和国家标准委员会2015年12月发布了《国家智能制造标准体系建设指南》，给出了智能制造的框架体系，如图5所示。

该框架包括三个维度：生命周期维、系统层级维、智能功能维。其中，生命周期维是由设计、生产、物流、销售、服务等一系列相互联系的价值创造活动组成的链式集合；系统层级维包括设备层、控制层、车间层、企业层和协同层；智能功能维包括资源要素、系统集成、互联互通、信息融合和新兴业态等五层。

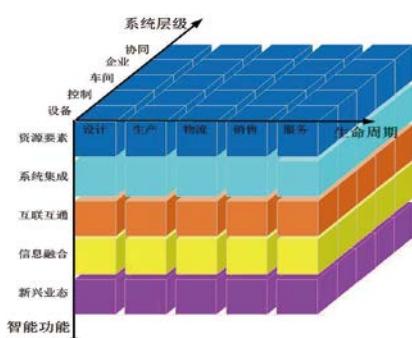


图 5 中国智能制造系统架构^[6]

智能制造应用体系的共性特点

综合上述智能制造体系及框架的最新成果，可以归纳出未来智能制造应用体系的共性特点：

- **联接 (Connectivity)**：包括异构 OT 的物联，以及 OT 与 IT 的互联。其中，OT (Operational Technology，运营技术) 包括各类设备、传感器、控制系统等；IT 包括各类软件工具及应用。

- **信息 (Information)**：实现数据采集、转换、存储、分析。

- **服务 (Service)**：基于 SOA (Service Oriented Architecture) 实现业务功能服务化封装，并支持服务的云端部署。

- **应用 (APP)**：面向未来业务模式的 APP 应用，重塑全生命周期价值流活动。

智能制造体系的融合进展及核心观点

智能制造应用体系的共性特点使企业可以减少对未来应用体系路线选择的担忧，对企业规划及建设智能制造体系具有现实指导意义。并且，随着国际上对智能制造体系及标准的不断融合，未来将在这些共性特点基础上不断地深入细化。例如，2015年秋季在瑞士，美国工业互联网联盟、德国联邦经济事务和能源部、德国联邦教育与研究部以及行业代表，对工业4.0参考架构模型 RAMI 4.0 与工业互联网参考架构 IIRA 进行了详细研讨和共性映射，如图6所示。

美国工业互联网与德国工业4.0最大的不同在于：工业互联网强调跨领域，即不仅包括制造业，还包括能源、健康、运输等领域，在制造业方面也仅仅聚焦在生产环节，而是强调全生命周期，并以此为原则构建开放式平台；德国工业4.0则侧重制造领域，重点在生产环节。二者目前在制造领域应用体系的功能域进行了相应的映射。

中国在稳步推进智能制造标准及应用示范建设的同时，也在与国

核心观点：智能制造 = 工业技术 + 信息技术 + 运营技术 = I²oT

Industry Technology Information Technology Operational Technology

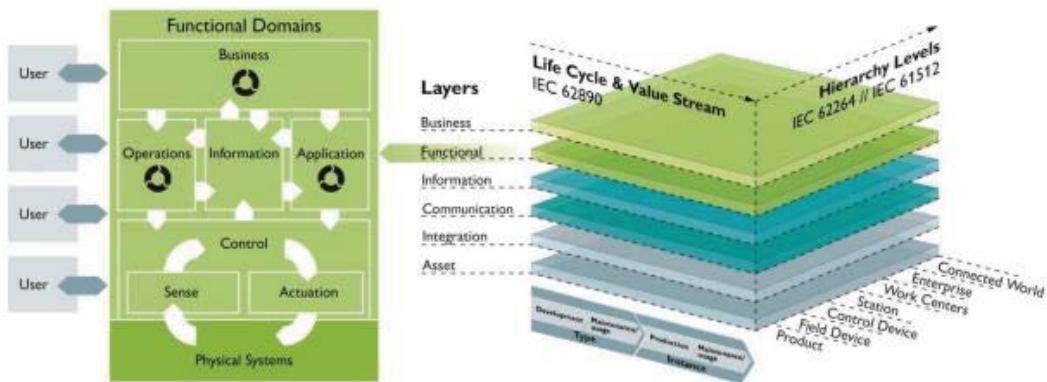


图 6 IIRA/RAMI 4.0 映射^[9]

际接轨。2016年4月9日，由中国电子信息产业发展研究院、中国电子学会发起，联合中德两国知名企 业60余家会员单位以及相关科研院校，共同成立了中德智能制造联盟，以推进中国智能制造与德国工业4.0的对接，为企业实施智能制造提供技术及标准、示范应用等。

结合上述共性特点分析及未来该领域的国际融合趋势，可以对智能制造体系有一个统一的归纳理解，即智能制造体系是工业技术、信息技术、运营技术的集成体系。

- 信息技术：用于管理和处理信息的技术统称，包括设备联接、传感、计算机与智能、通信和控制等技术。信息技术是业务应用的支撑。

- 运营技术：也称为运维技术，包括工厂运营和产品运营两个维度。其中，工厂运营包括设备操作、车间运营、企业运营三个层面；产品运营则包括企业远程运营、客户

现场运营两个层面。运营技术是工业化的基础。

- 工业技术：包括专项技术、产品、业务三个维度。其中，业务指围绕专项技术和产品的业务体系，包括研发设计、生产制造、客户服务、经营管理、市场营销等各个环节。

- 作为工业技术与信息技术、运营技术的集成体系，智能制造体系首先要实现信息技术与运营技



图 7 智能制造技术集成体系

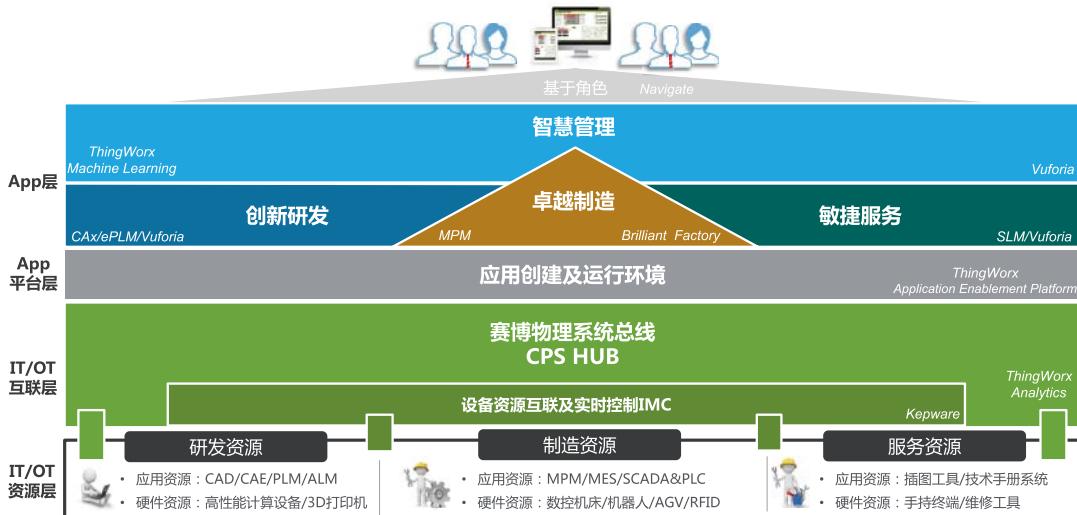


图 8 智能制造应用框架

术的融合，通过物联网和大数据分析等信息技术与工业控制系统（DCS、SCADA、PLC 等）、设备等运营技术的集成，解决虚实互连及数据基础问题。IT/OT 集成中涉及到的关键技术包括：异构设备互连技术、设备 / 系统互连技术、实时数据库技术、大数据管理及分析技术、物联数据快速建模技术、设备云技术等。

智能制造的目标是在 IT/OT 融合的基础上，将其与工业技术融合，在技术、产品、业务、产业等层面上推动工业体系的转型升级。在技术上，催生新的技术领域，如航空电子技术、汽车电子技术、工业控制技术等；在产品上，推动产品的智能化；在业务上，实现研发、制造、服务等业务价值链活动的转变，以优化研制及客户服务业务体系；在产业上，催生新的业态，如云研发、云制造、远程服务等。

对应 I²OT 集成体系，智能制造的应用体系应包括“物联网 +”技术和应用平台。

- “物联网 +”技术：解决 IT/OT 集成问题，包括互连、分析、建模、增强现实等技术。
- 应用平台：解决 I²OT 融合问题，即面向未来技术、产品、业务及产业等工业化体系提供相应的平台和 APP，包括工业软件、APP 使能平台等。

智能制造应用框架

从智能制造的共性特点出发，结合“物联网 +”与应用平台等技术，给出智能制造的应用框架，如图 8 所示。该框架包括四层：IT/OT 资源层、IT/OT 互联层、APP 平台层、APP 层。

智能制造应用框架是对企业传统应用体系的转型升级，其以 CPS HUB 为基础、APP 平台为核心、APP 为业务支撑。

IT/OT 资源层

该层次将所有的应用、硬件、人都归集为企业资源。其中，应用包括 PLM、ERP、MES 等业务系统和 CAD/CAE 等工具；硬件则包括智能设备(数控机床、机器人等)、工控系统、物流配送设备、工装夹具 / 物料等；人员为各角色用户。其中，人员一方面是操作的主体，另一方面也是企业运营中的可调度资源。

IT/OT 互联层

该层通过赛博物理系统总线 (CPS HUB) 实现设备、车间、企业级的垂直集成，重点解决异构设备互联、设备 / 系统的互联、大数据管理等关键能力。该层可以分为两个层次：设备资源互联及实时控制 IMC (Intelligent Monitor and Control)，设备与系统互联。前者解决设备运营管理，后者将设备运营与业务系统融合，实现企业运营管控。

业界对 CPS 的理解普遍达成了共识，即将 CPS 翻译为赛博物理系统，是指融合了计算、网络和物理实体的复杂体系。CPS HUB 依托“物联网 + ”技术，打通人、机、物等关键环节，实现互联 (Communication) 、计算 (Computing) 和控制 (Control)，支持赛博空间以远程、可靠、实时、安全、智能化、协作的方式操控物理实体，并为 CPPS (Cyber-Physical Production Systems) 提

供数据基础。

该层支持大数据管理及分析。大数据包括结构化数据、非结构化数据、时序数据等。大数据管理内容要从应用需求出发进行定义，以减少冗余数据的管理成本。

此外，该层次应用可以部署至云端，形成云端 IT/OT 资源聚集，以支撑云制造等新模式。

APP 平台层

该层支持与 CPS HUB 的对象化互联和 APP 新业务应用模块的快速构建，如图 9 所示。

在快速建模及应用创建方面，主要能力包括数据模型构建、应用界面创建、应用发布部署、第三方服务调用等，并内置多项基础应用，如设备资产管理、软件内容管理、数据传递、工作流、权限控制等。在应用创建方面，用户可以根据业务需求，基于 CPS HUB 的数据基础构建自己的 APP，也可以使用 PTC 公司提供的最佳实践 APP 套件。

APP 应用层

智能制造体系下的业务价值链活动要体现业务转型升级的方向：在研发环节，重点提升产品创新；在制造环节，重点实现卓越，提质增效，提高运营及生产效率；在服务环节，重点提高敏捷性，以快速响应客户需求，向服务要效益；在管理环节，重点提高智慧性，从工业大数据中对运营过程进行分析，帮助管理者从已知现象分析问题本质，发现未来可能出现的结果，从

而实现从已知推断未知的智慧决策。

APP 应用层即是从上述方向出发，在创新研发、卓越制造、敏

捷服务、智慧管理等四个方面，分别基于行业最佳实践，提供相应的 APP 应用。如图 10 所示。

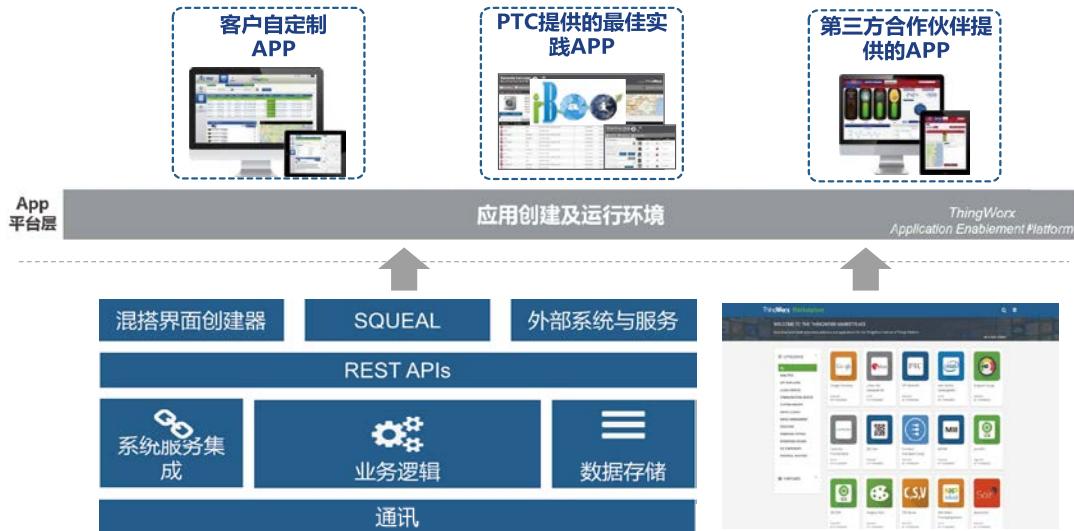


图 9 APP 平台层能力

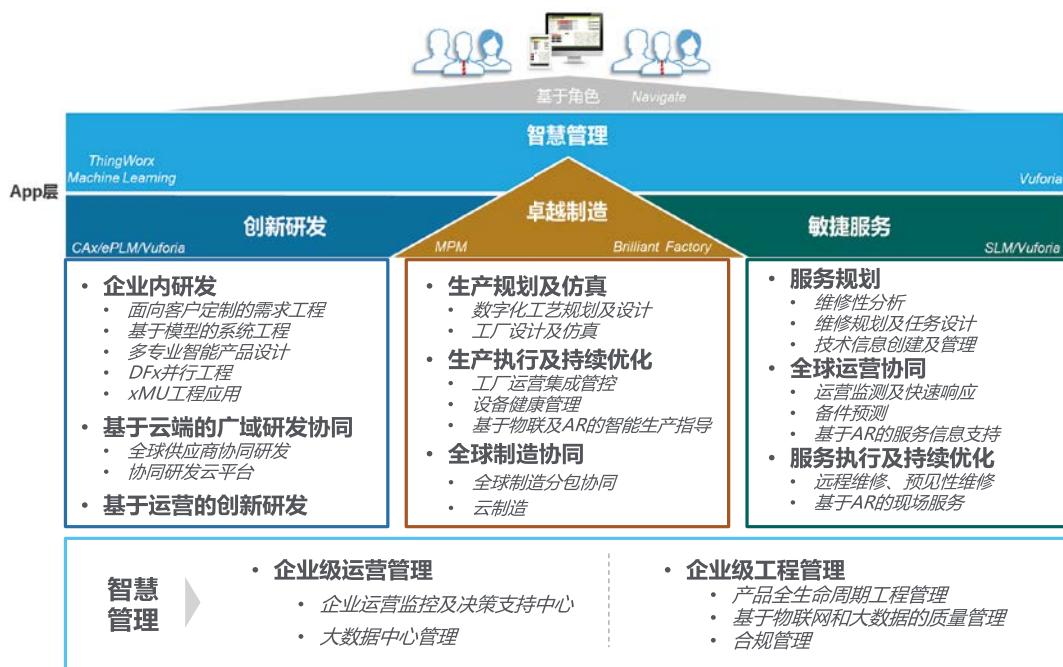


图 10 智能制造 APP 应用最佳实践

智能制造未来业务模式

在产品竞争激烈、产业结构快速更新的时代，制造业推进智能制造的目标是实现价值链转型升级，以获得良好的产品溢价和提高运营效率，从而实现差异化竞争优势。但是，价值链转型升级的压力并非来自于单项技术层面，更主要来自于企业对未来业务模式转型方向的战略思考，以及围绕明确的业务模式如何构建相应的应用体系、组织体系和业务体系。

1) 创新研发

价值链转型的出发点在研发环节，并以此为基础形成辐射效应。未来研发的主线要围绕创新为主题开展，并呈现如下的趋势：

- 面向智能化的产品设计：产品的智能化特性不断增加，以及产品即服务模式的出现，使得产品研发从以机械设计为主转变成真正跨学科的系统工程，这里的学科不仅仅包括传统的机、电、软等专业，还包括产品互联、嵌入式服务、用户体验等新的学科。

- 满足高度个性化定制需求：不同的客户分层、不同的地域、不同的应用目标都对产品多样性提出要求，在研发前端即考虑对个性化定制的支持，可以大大降低定制的成本。企业未来将加大软件个性化定制的支持比重，以降低多样化对硬件带来的成本压力。

- 快速的产品持续改进：实现产品的持续改进是获得持续性竞争优势的关键要素，未来企业将通过产品互联实时提取产品运营质量信息，并将其与数字化研发及仿

真模拟过程进行融合，以实现产品在其生命周期中任意环节时的持续改进。

- 新技术推动的研发创新：未来将引入增强现实、云计算、大数据分析等技术，并支持众创众包的新模式，为研发人员提供创新环境，提高研发效率和自主创新能力。

结合创新研发趋势，基于智能制造总体应用框架，搭建面向智能互联产品的创新研发环境。对该应用环境的定义如下：

智能互联产品创新研发环境：面向智能产品，引入系统工程、并行工程、DFx、模块化设计等先进方法，采用数字化、虚拟化、物联网、大数据等技术，构建智能互联产品的创新研发环境，支持全寿期、多层次、多模式、多维度的研发协同，提高创新研发核心竞争力。

创新研发业务模式包括三个层面：企业内研发、价值链广域协同研发、基于运营的创新研发。如图 11 所示。创新研发的所有业务应用都需要依托 CPS HUB 提供数据基础，如设计数据、仿真分析数据、运营数据等。

- 企业内研发：围绕智能产品和个性化定制，优化原有的企业内研发业务，主要业务模式如下：

- ① 面向客户定制的需求工程：研发人员面向客户化定制需求提前进行系列化产品规划，以适应客户未来选配及定制需求，即面向个性

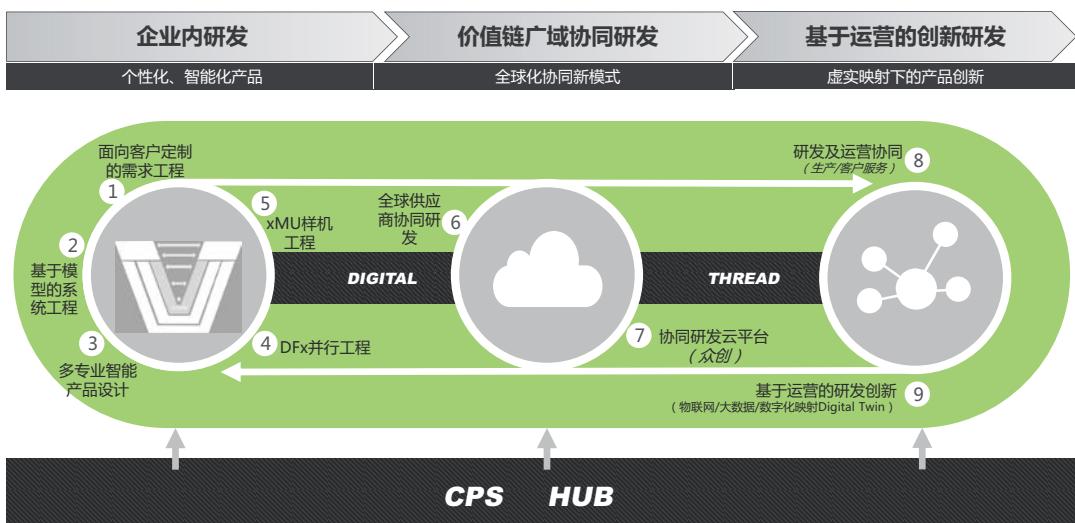


图 11 创新研发未来业务模式

化定制的设计规划；市场营销人员与客户进行需求互动时，可以基于平台给客户提供灵活配置的推荐方案，并基于定制化结果，利用手持终端、增强现实技术等给出可视化的产品互动体验；客户需求确定后，在产品研制中，客户可以基于需求对研制全过程进行透明化实时监控，并可以根据情况进行相应的需求更改。

② 基于模型的系统工程：围绕智能产品客户定制需求，采用基于模型的系统工程方法进行智能产品架构设计及虚拟验证。在架构设计中重点通过行为模型等对产品智能特性进行描述，以指导后续对智能特性的实现及验证。在虚拟验证中，支持验证需求、架构设计、虚拟仿真、问题整改的完整闭环过程管理。

③ 多专业智能产品设计：基于架构设计结果，开展多专业的方案设计、详细设计、试验验证等。

支持机、电、软等多专业的协同设计。与传统产品设计不同，这里更强调面向客户定制化需求的设计、面向智能特性的设计、嵌入式软件研发及其一体化管理等。

④ DFx 并行工程：引入并行工程等方法，实现 DFSCM（面向供应链的设计）、DFM（面向制造的设计）、DFA（面向装配的设计）、DFS（面向保障的设计）等，支持研发与供应商优选、工艺设计、保障性设计的并行。

⑤ xMU 样机工程：在 DMU 工程化应用的基础上，在研发过程中引入增强现实 AR（Augmented Reality）和虚实映射 DT（Digital Twin），实现基于 AR 的半实物仿真 RMU（Half-Digital Mockup）、基于虚实映射技术的实时仿真 RMU（Real-time Mockup）等，提高产品研发水平和效率。

• **价值链广域协同研发**：未来

的协同业务将打破地域、资源短缺、应用部署复杂等限制，实现全球范围内的研发协同，并支持新的研发模式，如众创等。

⑥ 全球供应商协同研发：企业可以基于全球供应商协同环境实现与供应商的高效研发协同，主要协同业务包括供应商技术接口管理、交付需求及计划管理、研发样机协同、交付数据协同管理、工程协调、基于 AR 的研发协同评审等。

⑦ 协同研发云平台：面向企业联盟或众创参与成员，建立协同研发云平台，提供按需定制的研发工具及应用环境，支持各协作主体基于云端协同环境开展高效协同。

• 基于运营的研发创新：通过物联网等技术，将运营、运维环节与研发环节紧密结合，推动研发的持续、快速创新。主要业务包括：

⑧ 研发及运营协同：涵盖研发与生产运营协同、研发与交付产品的运营协同两层面的协同。业务

主要包括研发工程数据协同、更改协同等。

⑨ 基于运营的研发创新：通过物联网、大数据分析等技术，与生产、产品运营环节进行互联，通过实时监测生产质量及运营效果，对产品研发进行持续优化。研发人员也可以通过大数据分析能力，预测产品的故障问题，通过改进设计解决产品缺陷。

2) 卓越制造

制造环节是资源利用及成本消耗的重点，如何在制造环节体现卓越，实现工厂持续运营和智能化生产，成为生产型企业未来转型的重点方向。未来的趋势如下：

• 数字化 / 模块化工艺规划：生产单位未来将不断优化产业结构，供应链协作体系将不断变化。从总装角度，在工艺规划环节将采用数字化、模块化手段进行规划和设计，为柔性生产和供应链体系调

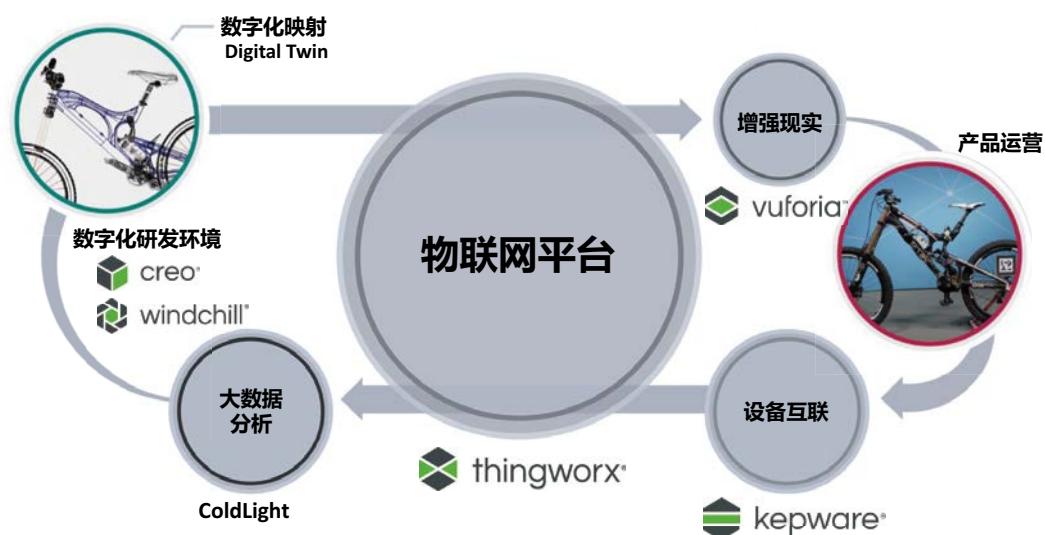


图 12 基于 xMU 的虚实映射及增强现实

整提供基础；零部件制造商将在工艺规划环节采用数字化手段，以对接研发和总包商。

- **工厂持续运营**：智能化车间建设完成后，要实现设备、车间、企业的垂直集成，并以此为基础构建工厂运营监测、设备健康管理等能力，以实现工厂的持续运营，减少设备停车带来的生产效率影响。

- **智能化生产**：将生产过程与工厂运营管理紧密结合，即以IT/OT互联为基础实现生产及运营集成管控，支持生产计划、工艺设计、生产执行、设备运行、物料配送等过程的集成化管理。

- **智能化工厂**：未来企业工厂车间将不断引入新的智能生产设备，并建设相应的网络基础设施和物流配送设施等，这就需要为此建立智能工厂规划、设计和管理的配套体系。

结合卓越制造的未来趋势，基于智能制造总体应用框架，搭建面向制造金字塔的工艺规划及生产运营环境，对该应用环境的定义如下：

卓越制造规划及生产运营环境：面向制造金字塔，打通研发、工艺、生产横向集成和企业、车间、设备纵向集成，引入模块化工艺及生产等先进方法，采用数字化、虚拟化、物联网、大数据等技术，构建工艺规划、工厂规划、生产运营的集成管控环境，支持卓越工厂规划及持续运营，实现高效快速生产，降低生产及运营成本。

卓越制造的业务模式包括生产规划及仿真、生产执行及持续优化、全球制造协同三个核心业务，如图13所示。其与创新研发类似，同样需要基于统一的CPS HUB提供数据基础，如设计数据、工艺工装数据、生产质量数据、设备运营数据等。

- **生产规划及仿真**：包括工艺规划及设计、工厂规划及设计，并在规划及设计过程中引入数字化、模块化等先进技术和方法，以提高规划效率及质量。

- ① **研制并行协同**：研发与工艺并行协同，工艺人员可以基于成熟度提前开展数字化工艺派生设计、专用大型工装设计、材料定额、工艺分工等。

- ② **工艺规划及设计**：传统的工艺注重编辑为主，未来将转变为以消耗式为主的数字化规划、设计、流程、资源的一体化管理，并注重工艺的规范化管理和工艺知识库的建立及应用。对于总装单位，将引入模块化思想，工艺人员进行模块化工艺设计，以实现模块化生产和与设计环节的无缝衔接。

- ③ **工厂设计及仿真**：工厂规划及设计人员采用数字化手段，对工厂中的智能设备、物流配送通道、网络基础设施等进行综合规划、设计及仿真。

- ④ **工装设计**：面向智能产线，未来实现模块化柔性工装，即面向混装生产线可以基于模块化快速组建工装配环境。

- **生产执行及持续优化**：基于生产准备，进行生产计划安排并执行生产任务，在新的智能制造模式

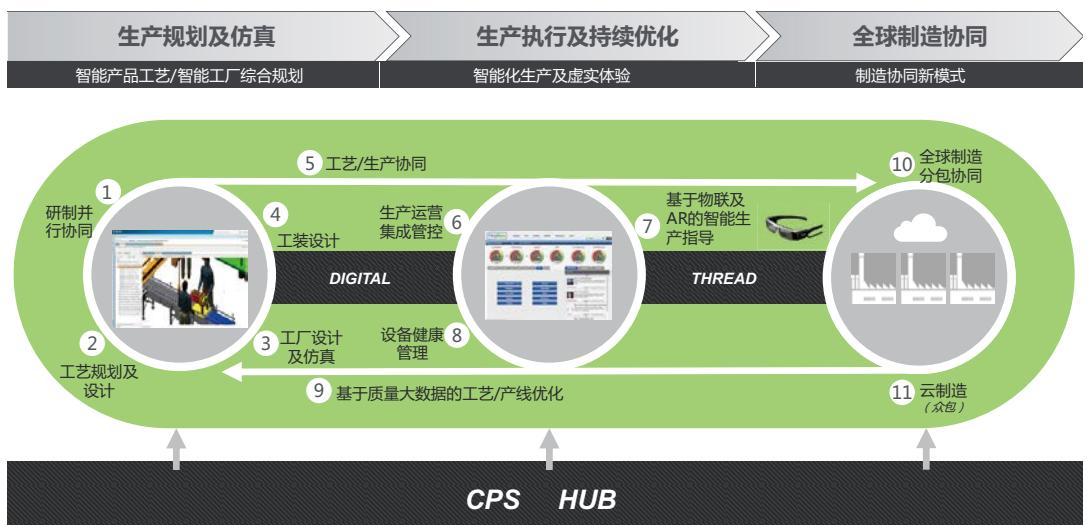


图 13 卓越制造未来业务模式

下，生产执行及持续优化重点实现如下的业务支撑：

⑤ 工艺 / 生产协同：与传统工艺向生产提交数据、生产依照工艺卡片执行的方式不同，工艺与生产执行环节将实现高度数字化、一体化协同，即一方面工艺向生产提供材料定额、数字化工艺设计结果、更改数据等；另一方面生产向工艺反馈生产执行状态、更改贯彻状态等。

⑥ 生产运营集成管控：传统的 MES 生产执行管理系统侧重对生产执行过程追踪和工时定额的管理。未来的企业、车间、设备等纵向企业资源层面，生产计划、生产执行、物料配送、供应链成品供应等生产业务层面，以及质量、成本等管理层面等，将基于 CPS HUB 实现整合。设备管理员、物料管理员、车间主任、厂长、企业生产总经理、质量部负责人、用户方等不同的角色可以对生产运营的不同维

度实现可视化实时监控。

⑦ 基于物联网及 AR 的智能生产指导：从提高工人车间执行效率的角度，未来车间工人获取信息的方式将更单一、信息量将更综合、信息表达方式将更直观、信息处理将更快捷。如工人通过手持终端可以实时获取到推送的生产执行信息，生产执行信息里包括产品设计数据、三维工艺规程、工装及资源设备信息等。工艺可以查看装配动画指导装配过程，也可以查看具体智能设备加工零部件的实时状态。此外，通过可穿戴设备或手持终端可以实时扫描工位或部件标识码，基于增强现实技术显示待装配的零部件以及装配过程模拟。

⑧ 设备健康管理：从提高设备最大化运营效率的角度出发，未来设备管理人员可以基于物联网、大数据、增强现实技术实现设备的健康管理，主要包括：基于物联实现设备状态的实时监测，基于大数据

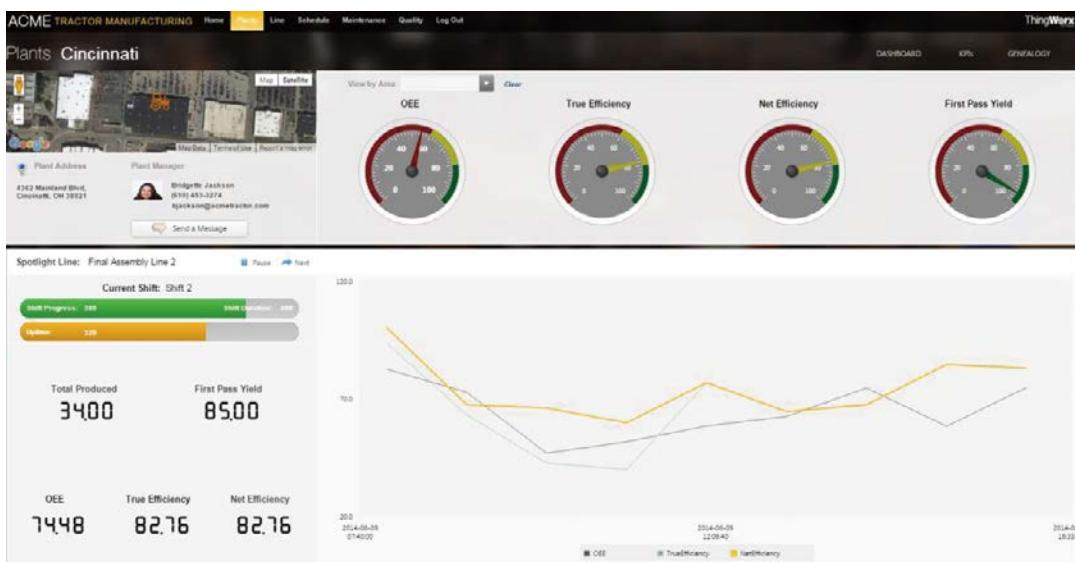


图 14 生产运营集成管控 APP 示意

对设备的性能参数数据进行分析，预测未来的故障；基于增强现实指导设备的维修执行。

⑨ 基于质量大数据的工艺 / 产线优化：设备生产过程中采集的数据、零部件加工及装配过程中的质量数据等可以用于辅助分析，工艺及产线设计部门可以据此进行优化改进。

- **全球制造协同**：未来的全球制造协同将依托互联网等技术，消除地域障碍，进一步提升制造分包的管理规范化水平和制造分包协同效率；从变革制造商业模式的角度出发，通过物联网、云计算等技术，基于云平台实现制造资源的最大化高效利用。

⑩ 全球制造分包协同：总制造商将对制造分包需求、计划、执行、交付、状态控制的完整过程进行管控；分包商将方便地获取分包需求，按照计划和规范交付成果，

并实时交互变更情况。

⑪ 云制造：通过云平台，转变传统的设备资源与生产能力绑定的商业模式，充分发挥制造商联盟的资源整合优势，减少资源冗余，实现资源的按需供给。

3) 敏捷服务

制造企业由“研发为中心”和“生产为中心”向“服务为中心”的转型成为发展趋势。通过服务转型，一方面通过给客户提供更多的增值服务，打造新的竞争优势；另一方面通过创新服务商业模式，为企业带来新的利润增长点。智能制造背景下客户服务的主要趋势如下：

- **服务的高敏捷性**：快速响应客户需求，以产品为载体为客户带来持续价值，构建新型客户关系，成为企业未来的核心竞争力。客户服务可以借助新技术和新业务模式

实现高敏捷性。其中，新业务模式包括一站式服务、远程服务、预见性维修等；新技术包括基于物联的运营、基于增强现实的服务支持等。

• **服务商业模式创新**：产品的智能互联性使得服务商业模式的创新成为可能，企业可以通过提供增值服务带来新的收入和利润增长点，如远程软件产品升级服务、客户运营数据分析服务、产品运营托管服务等；企业也可以打破传统的单纯卖产品的销售策略，转向产品即服务模式，采用“计时服务”、“性能保障”等新的商业模式。

• **服务体系化**：服务模式的转变需要完善的客户服务业务体系和应用体系提供基础支撑。因此，企业未来需要逐步通过数字化手段，建立客户服务规划、交付、执行、优化、全球协同的完整数字化客户服务体系。

结合敏捷服务的未来趋势，基于智能制造总体应用框架，搭建敏

捷服务规划及运营环境，对该应用环境的定义如下：

敏捷服务规划及运营环境：以客户为中心，面向智能产品运营，引入维修工程等先进方法，采用数字化、虚拟化、物联网、大数据等技术，构建敏捷服务规划及运营环境，形成规划、运营、优化的互联闭环服务体系，建立事后维修、预防性维修、预见性维修等多级服务机制，打造一站式服务、远程服务的多层次服务模式，实现产品高效可靠运营，转变盈利模式。

敏捷服务的业务体系包括服务规划、全球运营协同、服务执行及持续优化三个核心业务，如图 15 所示。其同样需要基于统一的 CPS HUB 提供数据基础，如工程研制数据、维修设计数据、产品运营数



图 15 敏捷服务未来业务模式

- **服务规划**：基于维修工程方法，采用数字化手段进行维修性分析及服务保障方案的设计，主要业务场景包括：

① 研制与服务协同：研制环节需要向服务规划环节提供工程数据输入，以支持维修方案的设计，未来二者的协同模式是完全数字化、一体化和并行的，保证二者的符合性，并提高服务规划的效率。

② 维修性分析：目前的维修性分析过程通常是单点的，主要是为了满足出报告的需求。未来，维修性分析将与研制过程紧密融合，一方面具有正确的输入，另一方面分析结果可以得到有效的管理并方便追溯。

③ 维修规划及任务设计：服务转型后，制造企业将承担更多的维修保障工作。需要构建数字化的维修规划、分析及设计体系，为维修执行提供准确的操作步骤、维修资源、技术能力要求的输入。

④ 维修设备设计：在维修性分析过程中，会确定维修设备的需求，基于该需求，维修工程人员开展维修设备的设计及管理工作。

⑤ 技术信息创建及管理：现有的技术信息侧重技术资料的交付，部分采用了交互式电子手册（IETM）方式。未来的技术信息（包括技术插图）编辑，技术信息内容管理，技术信息的发布将与研制环节紧密整合，技术信息部门直接基于工程平台开展技术信息的编辑及管理。

- **全球运营协同**：产品主制造商在服务转型后将构建全球运营的组织及协作体系、MRO

（Maintenance, Repair and Operations）供应商网络等，并承担全球运营协同的主要职责。主要的业务场景包括：

⑥ 交付协同：实现产品交付过程的管理，该交付需要依照客户需求开展，交付数据需要统一管理。交付一方面是向客户的交付，另一方面也是向制造商运营管理等部门的交付。因此，协作流程需要支持上述两种业务。

⑦ 运营监测及快速响应：产品交付后，在制造商运营管理等部门将构建一对多的运营监测环境，基于物联网技术实现对智能产品运营过程的实时监测，并对监测过程中问题及时做出响应，提供一站式服务。

⑧ 备件预测：为客户提供初始备件建议，并通过运营监测及实际备件消耗情况，帮助客户提前预测备件采购及投产需求，产品制造企业则可以提前安排备件采购及生产计划。

⑨ 培训及训练支持：构建计算机辅助培训（CBT）设施及数字化培训教材，支持培训人员基于增强现实技术进行虚拟培训。

⑩ 基于 AR 的服务信息支持：为客户提供少纸化服务信息支持方案，客户在产品使用时可以基于手持终端，基于增强现实技术实时获取产品运行信息。

- **服务执行及持续优化**：产品交付运营后，需要通过维修等运营保障体系来确保产品良好的运营特性。在维修保障过程中，未来将采用远程维修、预见性维修、基于AR的维修指导等新的能力，以减

少产品停机，提高运营效率，并通过收集到的运营数据优化维修方案等工程环节，形成闭环的服务循环保障体系。如图 16 所示。

⑪ 维修工程与维修的协同：将服务规划过程与实际维修过程紧密融合，支持二者的协同业务，包括维修工程数据的传递、更改的协同、维修执行状态反馈等。

⑫ 远程维修：技术人员通过运营监测平台发现故障后，可以远程进行问题修复。如通过软件版本升级等解决软件的功能问题等。也可以指导现场服务人员开展维修工作。

⑬ 预见性维修：通过对产品运营的数据进行分析，结合故障知识库，提前预测可能发生的故障，提前采取行动预防故障的发生。

⑭ 基于 AR 的现场服务：面向现场服务人员，提供基于增强现实的服务支持能力。现场服务人员基

于手持终端或可穿戴设备，可以实时获取产品运营状态、维修技术信息，并可以获得维修过程指导。

⑮ 维修知识管理：建立故障知识库，为故障诊断及产品健康管理提供基础支撑。

⑯ MRO 供应商协同：随着产品复杂度的不断提升以及运营保障敏捷性需求的不断增加，产品制造商将纳入更多的 MRO 供应商联合提供运营服务，以建立自己的核心服务竞争能力。与 MRO 供应商的协同业务包括任务分包在线协作、维修任务执行状态监测、技术协调等。

⑰ 基于运营及维修大数据的工程优化：基于运营过程中采集的数据及维修过程中的数据，可以进行大数据分析，以优化设计、工艺、服务规划等工程设计环节，为下一代产品创新提供支撑。

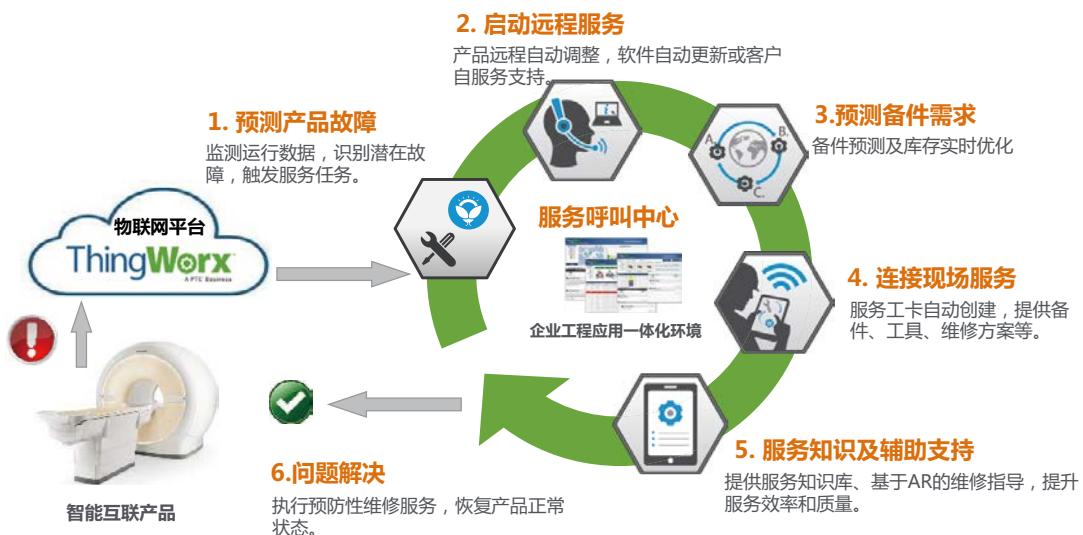


图 16 智能互联服务执行过程

4) 智慧管理

智能制造背景下，管理与研发、制造、服务等环节将紧密融合，并体现智慧化特性。区别于传统的商业智能 BI，智慧管理的应用体系将为企业决策层提供更全面、更深入、更实时的信息，并辅助进行决策。

其趋势描述如下：

- **可视 Visibility**：通过 CPS HUB 实现企业的横向集成、端到端集成、纵向集成，无疑为管理需求的不断精细化提供了技术保障。管理将在纵向企业资源层面、端到端价值链层面和横向供应链层面实现完全透明化的监控。

- **洞察 Insights**：在实现可视的基础，未来将基于大数据分析等能力，对监测到的状态进行分析，建立数据之间的关联，发现问题的根本原因及关联特性，辅助领导进行决策。

- **优化 Optimization**：在可视、洞察的基础上，未来支持企业对管理的业务体系进行优化，包括组织结构的优化、管理流程的优化等，以实现管理创新。如新增大数据管理部门及配套业务，构建企业的核心知识资产。

面向智慧管理的未来发展趋势，基于智能制造总体应用框架，搭建智慧管理及决策支持环境，对该应用环境的定义如下：

智慧管理及决策支持环境：面向企业战略运营及工程管理层面，采用数字化、虚拟化、大数据等技术，构建 CPS HUB 为基础的企业大数据互联及分析中心，以此为基础，支持战略运营管理及工程技术管理，辅助战略决策及执行，提高企业管理的精细化和智能化水平。

智慧管理的业务体系包括两个层面和两个维度。两个层面包括企业级、价值链级；两个维度包括工程管理和运营管理。智慧管理业务中还包含对大数据中心的运维工作。如图 17 所示。具体业务模式包括：

- **企业级工程管理**：面向全生命周期价值链工程研制及服务环节，从企业级层面建立工程管理体系，主要包括：

- ①产品全生命周期工程管理：从全生命周期角度建立全面技术管理体系，实现从需求、设计、工艺、生产、服务到报废的全过程一体化技术状态管控，包括工程数据的标识、控制、审核和记实等业务范畴。通过全面工程管理，为多级工程及管理人员提供准确的数据输入，以提高产品研制质量。

- ②基于物联网和大数据的质量管理：从企业级层面建立大质量管理体系，包括质量综合管理和质量工程管理。其中，质量综合管理包括质量目标建立、计划执行、质量审核及检查、质量改进等；质量工程管理包括质量数据采集、分析、管理优化等。未来质量管理将与上述工程管理、工程执行等环节紧密融合，通过物联网、大数据等技术，支持研制过程中的实时质量管理。

- ③合规管理：每个行业都有



图 17 智慧管理未来业务模式

相应的合规性管理需求，如汽车行业要满足安全、环境的合规要求，电子行业要满足 RoHS、REACH 等合规要求，航空行业要满足适航安全性要求等。合规管理主要从合规要求出发，建立配套的业务管理及应用体系。基于合规要求，技术人员可以追踪合规执行情况及执行状态，并对执行情况进行合规性分析，不合规问题需要限期进行闭环整改。

- **企业级运营管理**：从企业整体运营管理的角度出发，建立运营的智慧化管理业务模式，主要包括：

④企业运营监控及决策支持中心：包括多维度运营监控、分析及决策支持、业务协作三个主要业务。其中，多维度运营监控主要面向企业运营 CxO 等多级管理人员，提供包含计划、成本、质量、技术等多要素的综合管控门户，支持信息的实时获取及动态可视化展示；分

析及决策支持主要面向运营决策层领导，提供产品运营综合效能、车间运营综合效能、产线运营综合效能等的分析，辅助领导进行决策；业务协作主要支持各级领导基于监控和分析的情况，开展与相关部门的业务协作，指导业务工作的开展。

⑤大数据中心管理：从大数据中心运维层面，实现大数据的组织、管理和维护，并提供大数据分析能力。需要建立相应的组织体系和业务管理体系。

• **价值链级管理**：主要从创新研发、卓越制造、敏捷服务的价值链层面，为企业运营及技术管理层提供二级监控中心环境，其监控业务主要包括：

⑥创新研发分监控中心：从企业顶层技术管理的需求出发建立的研发环节分监控中心。主要的监控内容包括：研发进度，研发需求满足度，仿真实验状态，工程更改统

计，数字化样机等。

⑦卓越制造分监控中心：从企业综合运营管理角度建立的卓越制造分监控中心，监控内容包括：异地企业、车间、供应商生产运营状态，生产质量问题及其处理进展，工程协调进展，生产线生产可视化监控等。

⑧敏捷服务分监控中心：从企业对产品运营顶层管理的需求出发，建立的敏捷服务分监控中心，主要监控内容包括：产品综合运营状态，产品系列故障统计，关键产品运维进展，客户满意度状态，MRO 供应商协作状态等。

智能制造实施路径

实施智能制造需要结合中国制造业业务及信息化发展基础，立体化、综合化地定义中国智能制造的总体发展路径。PTC 公司面向制造业企业未来业务转型方向，结合行业最佳实践，从数字化工

程（Digital Engineering）、制造（Manufacturing）、服务（Service）等价值链层次给出了各个环节的未来业务转型之路（Transformation Journey Map），为制造业企业进行智能制造规划及能力建设提供最佳实践的指导。

在中国制造 2025 背景下，企业在实际规划过程中，需要定义具体实施计划，企业可以以时间轴、能力轴为基础，结合企业转型升级业务战略，分解年度能力发展目标，明确年度业务及 IT 举措。然后，结合年度目标及举措，以及智能制造能力成熟度模型，规划企业适合的智能制造路线图。

本文给出了表 2—表 4 的智能制造成熟度模型，从研发、制造、服务、管理等四个方面定义了不同的成熟度等级及其配套的应用能力，为企业信息化能力评估提供参考依据。

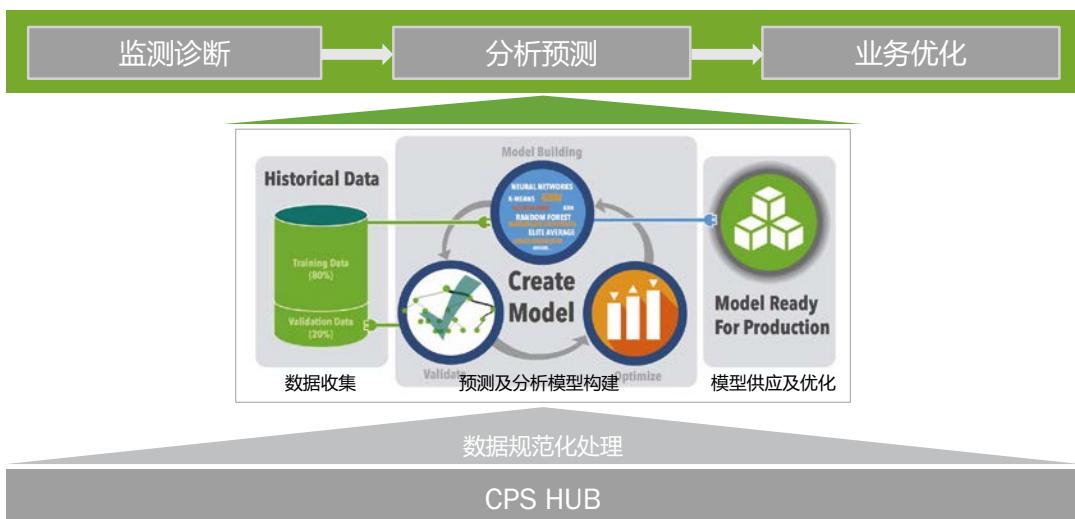


图 18 基于 CPS HUB 的大数据分析及预测

总体上，智能制造的实施路径包括以下四步：

- 第一步：从单点数字化模型表达，向全局、全生命周期模型化表达及传递体系进行转变；
- 第二步：从设计工艺打通，向系统工程、并行工程、模块化支撑下的产品及生产全生命周期一
- 体化和价值链广域协同模式进行转变；
- 第三步：从信息世界模式向信息 / 物理世界融合下的管理 / 工程高度融合的模式进行转变；
- 第四步：从经验决策模式向大数据支撑下的智慧化管理模式进行转变。

成熟度		研发	制造	服务	管理
数字化	L1	二维图文档设计	基于文档的工艺设计 二维工装设计	纸质维修资料	研发、制造及服务未进行一体化集成
	L2	二维与三维结合的设计，以二维为主	二维工艺规程设计 三维辅助工艺派生 / 工装 / 检验设计 NC 代码辅助生成	电子化维修资料管理	研制、制造实现数据衔接 研制与服务未实现一体
	L3	全三维结构设计 MBD 二维 / 三维结合电气设计 机载软件持续集成研发 多级数字化样机工程 模块化设计	三维工艺规程设计 三维工艺仿真 三维工装设计 模块化工艺 NC 代码自动生成	数字化维修分析 交互式电子手册编缉及发布	基于三维 MBD 的设计制造数据协同 研制与服务实现基本的信息互联
	L4	需求工程 基于模型的系统工程设计 基于虚拟样机的验证	数字化工厂设计 生产工程	维修工程设计	基于三维的设计制造服务数据模型一体化衔接 侧重企业内部的数据量传递体系构建
	L5	数字化分包设计	基于数字化交付规范的制造分包	维修供应商数字化维修数据交付	扩展企业的数字量表达及传递

表 2 数字化成熟度模型

成熟度		研发	制造	服务	管理
网络化	L1	图文档管理	工艺卡片管理	纸质管理模式	纸质管理模式 质量管理不透明 研发、制造、服务等环节脱节
	L2	EBOM 管理 详细设计结构数据管理 技术文件管理 设计更改管理	PBOM/MBOM 管理 工艺设计数据管理 工艺更改管理 生产执行管理 MES 企业资源管理 ERP	技术资料内容管理	研发、制造及生产一体化 研制与服务脱节 工程更改贯彻一体化
	L3	需求工程管理 系统工程管理 设计 / 仿真 / 验证一体化管理 研发技术状态管理	设计制造并行工程 工艺资源管理 制造技术状态管理 数字化工厂设计管理 制造技术状态管理	维修工程管理 维修执行过程管理 MRO 维修技术状态管理	产品全生命周期一体化技术状态管理 产品质量工程
	L4	全球研发协同	制造供应商协同	客户协同 MRO 维修协同	全价值链企业间的协同供应链管理

表 3 网络化成熟度模型

成熟度		研发	制造	服务	管理
智能化	L1	产品定制化管理 智能产品设计 基于模型的测试 基于模型的软件开发	面向智能产品 / 产线的工艺规划及设计 智能产线设计	面向智能服务的维修工程设计	智能产品技术状态管理 智能互联质量管理
	L2	xMU 工程 (AR/DT) 以 CPS HUB 为基础的研发与生产智能互联 以 CPS HUB 为基础的研发与运营智能互联	设备互联及实时监测 工厂运营集成监控 基于物联网和 AR 的智能作业指导	基于物联的产品运营智能监测 一站式服务	创新研发、卓越制造、敏捷服务的一体化
	L3	基于大数据的研发创新	设备健康管理 工厂运营智能决策	产品健康管理	企业运营集成管控及智能决策
	L4	云研发平台 众创协同	云制造	基于性能的服务 计时服务	大数据运营管理

表 4 智能化成熟度模型

典型案例

StreetScooter：个性化定制的智能电动汽车

德国 StreetScooter 公司成立于 2010 年，公司目标是研制全新、可定制化、低廉的智能电动轿车，以降低物流业运输成本，并且实现市民的便利绿色出行。目前，StreetScooter 公司已经可以调动全球供应商 60 余家，服务客户包括保时捷、宝马等多家全球知名汽车品牌。2014 年，该公司旗下的运输车部门 WORK 得到德国邮政青睐，并以 3000 万欧元收购其运输车部门。

StreetScooter 公司的创意及创新模式主要包括：

- 众创：StreetScooter 彻底颠覆了整车厂商主导的模式，让汽车的设计和制造过程在供应商的支撑下完全扁平化。不同的参与者(包括汽车不同部分、不同零部件的供应商) 在同一个虚拟平台上协同工作。每个参与者的创造性都被极大地激发，只要符合事先确立的设计纲要，任何参与者都可以“说了算”。这一模式创造了 12 个月设计和制造一部汽车的奇迹。该虚拟协作平

括汽车不同部分、不同零部件的供应商) 在同一个虚拟平台上协同工作。每个参与者的创造性都被极大地激发，只要符合事先确立的设计纲要，任何参与者都可以“说了算”。这一模式创造了 12 个月设计和制造一部汽车的奇迹。该虚拟协作平



图 19 StreetScooter 智能互联汽车

台基于 PTC 公司的 Windchill 进行构建，以支持不同众创参与者的高效协同。

- **个性化定制**：高度模块化设计及生产，可以满足客户的高度定制化需求，并根据客户需求进行快速配置和生产。采用 PTC MBSE 解决方案实现需求、模块化规划及设计工作。

- **智能互联产品**：基于 PTC ThingWorx 打造车联网平台，实现基于物联的系统工程设计、软件互联、智能互联系统等。支持远程软件更新、智能互联系统知识管理及快速响应等。

GE：卓越工厂

PTC 公司与 GE 公司进行全球战略合作，携手推出全新的卓越制造解决方案及软件套件。GE 基于该解决方案的卓越工厂项目，整体部署将分为三个阶段：

- 第一步：Get Connected，互联。通过设备互联建立数据基础，实现设备和生产效能实时监测。
- 第二步：Get Insights，洞察。在互联的基础上进行分析预测，辅助进行决策。
- 第三步：Get Optimized，优

化。基于大数据分析对工厂和生产进行优化，赋予运营新能力。

该项目自 2015 年开始在 GE 工厂中实施并投入使用，带来了良好的应用效果。未来将在 GE 全球工厂中进一步扩展部署，并预期达到如下的应用效果：

- 减少停机 10%–15%
- 减少库存 30%
- 减少人力成本 14%
- 缩短交付周期 60%

GE 首席信息官 Jamie Miller 表示：“卓越工厂将工程设计与制造相结合，可利用数据显著提高我们的工厂经营成果，同时优化整个供应链。该解决方案能让我们清晰地了解数据，并基于此做出重大抉择。我们不仅可以延长设备的正常运行时间，还可提前预知维护需求。”



图 20 GE 卓越工厂部署步骤

Airbus : 智能互联总装优化平台

不同于汽车的自动化生产线，飞机在其精密制造历史上还未广泛应用智能机器人，而是通常由人负责，智能机器人提供辅助。Airbus通过把工人与工具联接至物联网平台，以加速制造过程。

Airbus ICT 部门的 PLM 研发与创新主管 Jean-Bernard Hentz 描述了基于物联网平台的“Rosie the Riveter 2.0”（铆钉工罗茜 2.0）的业务场景：Airbus 总装车间工人利用平板电脑或智能眼镜扫描飞机的金属外壳，就可以确定给定的孔需要什么规格的螺栓，以及安装螺栓所需要的扭矩。这些信息将自动地发送给机器人工具，然后由工具完成任务。通常一架飞机要使用 1100 多种工具，并安装 40 万以上的螺栓螺钉，这项工作带来的效率提升将是革命性的，并能够提升装配的精度和质量。

Airbus 的物联网平台基于 PTC 的 ThingWorx 构建，实现的能力包括：

- 集成 HUB：PLM/ERP/MES、工人和工具；
- 方便获取和浏览三维数据、标准和工卡；
- 现场工卡执行；
- 基于角色的用户体验；
- 即插即用式的开放式平台。实现了如下的业务价值：
 - 对制造过程进行了良好控制；
 - 提高了装配工人的执行效率；
 - 提高了生产质量和产能。



图 21 Airbus 智能互联装配线

Schneider Electric : 智能互联服务

Schneider Electric（施耐德电气公司）在交付客户终端产品时，将产品接入其智能互联服务体系。其企业端的智能互联服务平台可以建立与交付产品的闭环互联，实现一对多的产品运营监控。现场服务人员基于手持终端可以实时访问服务信息，为现场工作提供支持。远程服务平台也可以为现场工程师提供产品异常问题的解决方案。现场工程师在维修过程中，可以基于增强现实技术，为其维修过程提供指导，以提高维修效率和维修质量。



图 22 Schneider Electric 智能互联服务平台

施耐德电气公司基于 PTC 的 ThingWorx 构建了一对多的智能互
联服务平台，基于 PTC 的 Vuforia 实现了基于 AR 的维修指导。现场
工程师获取服务信息将更便捷，并能够得到服务方案决策支持，使得
现场服务更加高效。施耐德电气公司也通过物联网平台，收集到了大
量的客户使用数据，通过分析用于更好地改进产品和服务。

FlowServe：智能互联泵阀的 预见性维修

FlowServe 是全球著名的泵阀制造企业，其交付的泵设备具备智能互联特性，可以实时监控设备运营状态，并在运营过程中通过预测分析能力对设备运行状态进行分析，提前发现潜在的故障，提前开展相应的维修工作。

FlowServe 公司基于 PTC ThingWorx 和 Vuforia 构建了泵设

备的智能运营及运维平台。在实际运营过程中，一方面提供实时监测功能，另一方面可以在现场通过 AR 技术实时显示设备运行状态信息。通过机器学习能力帮助建立故障预测模式，当潜在故障发生时可以给出设备相关零部件的预计寿命。如出现泵中空穴异常情况，使得效率降低，平台将给出叶轮故障将在 6 天后发生的提示，以提醒客户提前启动运维工作，排除故障，减少设备停机。



图 23 FlowServe 预见性维修

结束语

中国制造 2025 明确了智能制造作为未来的主攻方向，为制造业企业带来了机遇，也带来了挑战。在对智能制造体系形成正确认识的基础上，借助国际先进的技术平台和最佳实践，构建符合企业自身业务转型战略的智能制造应用体系和业务体系，成为国内企业未来 5-10 年的重点任务。

未来国家及产业层面将陆续出台智能制造的实施路线、成熟

度模型和评价体系。PTC 作为率先进军物联网的工业软件供应商，也将再文中所述的智能制造体系应用框架基础上，以“CPS HUB”为基础，“物联网 + 应用平台”为核心，从创新研发、卓越制造、敏捷服务、智慧管理等全价值链层面逐步提供完善的最佳实践 APP，为制造业企业构建智能制造体系、推动业务转型升级提供应用体系层面的有效支撑。

参考资料

- [1] Federal Ministry of Education and Research. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0.
- [2] 迈克尔·波特，詹姆斯·贺普曼. 物联网时代的企业竞争战略（上）.
- [3] 迈克尔·波特，詹姆斯·贺普曼. 物联网时代的企业竞争战略（下）.
- [4] Global Agenda Council on the Future of Manufacturing. The Future of Manufacturing: Driving Capabilities, Enabling Investments, URL: http://www.cggc.duke.edu/pdfs/Future_of_Manufacturing_Driving_Capabilities.pdf, Access date March 14, 2015.
- [5] NIST. Current Standards Landscape for Smart Manufacturing Systems.
- [6] 工业和信息化部 国家标准化管理委员会. 国家智能制造标准体系建设指南（2015 版）.
- [7] IIC. Industrial Internet Reference Architecture.
- [8] ZVEI. Industrie 4.0: The Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0).
- [9] Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, Federal Ministry of Education and Research. Cooperation between Plattform Industrie 4.0 and Industrial Internet Consortium. <https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/PressReleases/2016/2016-03-02-blog-iic.html#main>.

→ 关于 PTC

PTC (纳斯达克 : PTC) 是一家全球性的技术平台与解决方案提供商 , 主要面向智能互连产品研发、制造和运营服务提供物联网技术平台和企业应用平台一体化解决方案。PTC 不但是计算机辅助设计 (CAD) 软件、产品生命周期管理 (PLM) 、软件全生命周期 (ALM) 、服务生命周期管理 (SLM) 领域的领导者 , 也是率先将物联网、大数据、增强现实技术与企业应用平台相结合 , 推动企业转型的下一代技术和应用平台的先行者。如今 , PTC 拥有 6,000 多名专业员工 , 服务于全球超过 28,000 家企业。

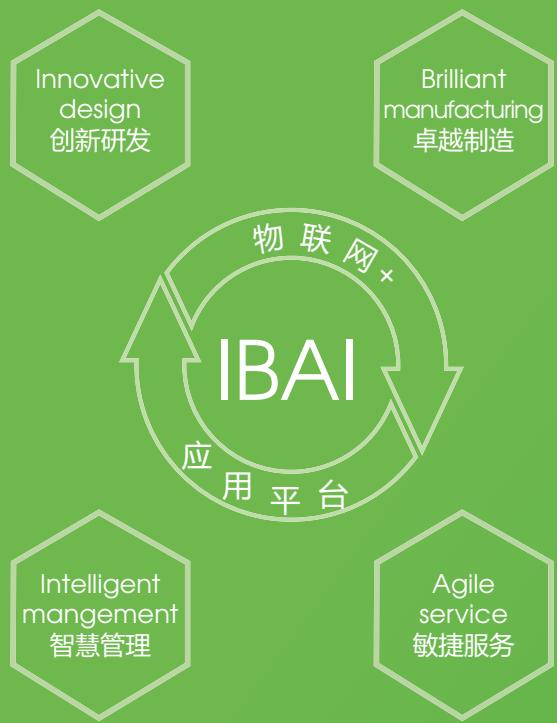
PTC 公司敏锐地提前捕捉了制造业未来发展趋势 , 对企业未来竞争战略、产品形态、技术体系和价值链模式进行了准确地预测 , 自 2013 年起陆续投入超过 7 亿美元布局物联网技术平台 , 形成了互联、分析、创建和体验的全方位支撑能力。并将物联网技术平台与应用平台 (CAD 、 PLM 、 ALM 、 MFG 、 SLM 等) 进行融合 , 形成了智能制造的全新应用框架 (如图 8) 和创新研发、卓越制造、敏捷服务、智慧管理的完整业务解决方案 , 为企业实施智能制造提供了全面的应用平台和解决方案最佳实践支撑。此外 , PTC 还与 GE 、 ServiceMax 等公司合作推出卓越制造、互联系统等新的解决方案套件 , 以丰富最佳实践 APP 的集合。

PTC 公司的产品集合如图 24 所示 , 主要包括 :

- “物联网 + ”技术平台 : Kepware 用于异构设备互联 , Axeda 用于设备云管理 , ThingWorx Machine Learning 用于机器学习和大数据分析 , ThingWorx Application Enablement Platform 用于应用 APP 快速创建 , Vuforia 为增强现实工具。
- 应用平台 : Creo 为 CAD 设计工具 , Windchill 为智能互连的 PLM 平台 , Integrity 为 MBSE 和软件全生命周期解决方案 , Manufacturing 为卓越制造解决方案 , Servigistics 为服务全生命周期解决方案。



图 24 PTC 产品集合



联系我们：

市场部咨询热线
800-819-9950

PTC上海
上海市浦东银城中路68号
时代金融中心10-12F, 200120
电话 : 021-61060606