



中國工程院
Chinese Academy of Engineering

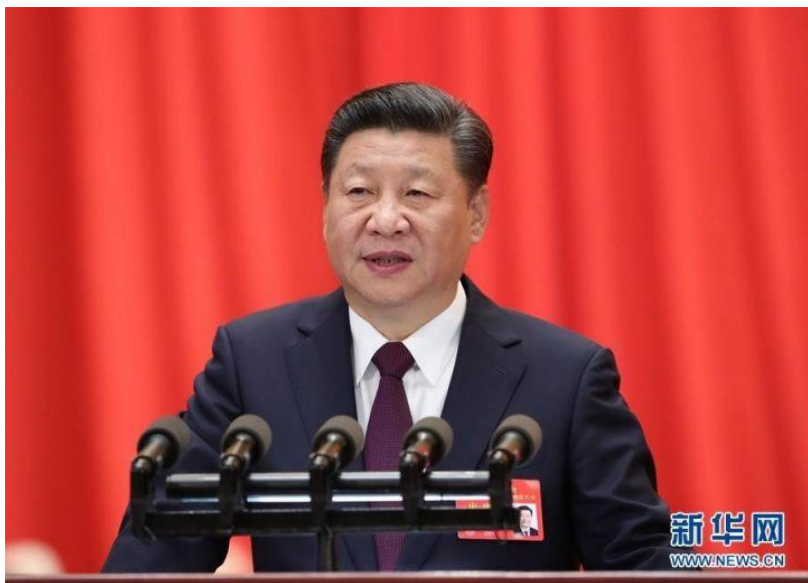


新一代智能制造

——新一轮工业革命的核心驱动力

周 济

2018年1月12日



**习近平总书记
在党的十九大报告中号召：**
**“加快建设制造强国，
加快发展先进制造业。”**

**要推进中国制造向中国创造转变，
中国速度向中国质量转变，
制造大国向制造强国转变。**

——习近平——

创新是引领发展的第一动力。

**继续做好信息化和工业化深度融合这篇大文章，
推进智能制造，
推动制造业加速向数字化、网络化、智能化发展。**

——习近平——

《中国制造2025》

**从国家层面确定了我国建设制造强国的
总体战略，明确提出：
要以创新驱动发展为主题，
以新一代信息技术与制造业深度融合为主线，
以推进智能制造为主攻方向，
实现制造业由大变强的历史跨越。**

- 一、智能制造是《中国制造2025》的主攻方向**
- 二、智能制造的基本范式与“并行推进、融合发展”的技术路线
- 三、新一代智能制造引领和推动新一轮工业革命
- 四、中国智能制造发展的战略建议和优先行动

一、智能制造是《中国制造2025》的主攻方向

1. 智能制造是中国制造业转型升级的强烈需求
2. 智能制造为中国制造业跨越发展提供历史性机遇
3. 加快制定和扎实推进中国智能制造发展战略

1. 智能制造是中国制造业转型升级的强烈需求

中国特色社会主义进入了**新时代**，

我国经济发展也进入了**新时代**，

新时代我国经济发展的特征，就是

我国经济发展已由高速增长阶段转向**高质量发展阶段**。

我国经济正处在转变发展方式、优化经济结构、转换增长动力的攻关期，创新驱动发展、推进供给侧结构性改革是实现高质量发展的迫切要求和我国发展的战略任务。

制造业是实体经济的主体，是技术创新的主战场，是供给侧结构性改革的主要领域。

实现高质量发展，必须要加快推动制造业实现质量效益提高、产业结构优化、发展方式转变、增长动力转换。

发展智能制造是中国制造业转型升级的主要路径。

加快发展智能制造，不但有助于企业全面提升研发、生产、管理和服务的数字化网络化智能化水平，持续改善产品质量，提高企业生产效率，满足在新常态下企业迫切希望实现创新和转型升级的需求，同时还将带动众多新技术、新产品、新装备快速发展，催生出一大批新应用、新业态和新模式，驱动新兴制造业蓬勃发展、传统制造业优化升级，为中国经济的增长注入强有力的新动能，带动中国制造保持中高速增长、迈向中高端水平。

一、智能制造是《中国制造2025》的主攻方向

1. 智能制造是中国制造业转型升级的强烈需求
- 2. 智能制造为中国制造业跨越发展提供历史性机遇**
3. 加快制定和扎实推进中国智能制造发展战略

2. 智能制造为中国制造业跨越发展提供历史性机遇

**新一轮科技革命和产业变革
与我国加快转变经济发展方式形成历史性交汇。**

——习近平——

**这为我们实施创新驱动发展战略提供了难得的重大机遇，
为中国制造业的创新驱动、转型升级指明了发展方向。**

**新一代人工智能技术与先进制造技术
深度融合所形成的新一代智能制造技术，
成为了新一轮工业革命的核心驱动力。**

**新一代智能制造正在引领和推动新一轮工业革命，
引发制造业发展理念、制造模式发生重大而深刻的变革，
重塑制造业的技术体系、生产模式、发展要素及价值链，
推动中国制造业获得竞争新优势，
推动全球制造业发展步入新阶段，
实现社会生产力的整体跃升。**

当前，中国和发达国家掌握新一轮工业革命的核心技术的机会是均等的，这为我国制造业发挥后发优势、实现跨越发展提供了可能和契机。

我国制造业具有自己的发展特色与独特优势。经过新中国成立以来六十多年特别是改革开放近四十年的快速发展，中国已经成为世界制造大国，中国制造正处在从数量扩张向质量提升发展的关键阶段。

今后二十年，正是“**智能制造**”这个新一轮工业革命核心技术发展的**关键时期**，
中国制造业完全可以抓住这一**千载难逢的历史机遇**，
集中全国优势兵力打一场战略决战，
实现战略性的重点突破、重点跨越，
实现与西方发达国家并行甚至超越，
实现中国制造业的**换道超车、跨越发展**。

一、智能制造是《中国制造2025》的主攻方向

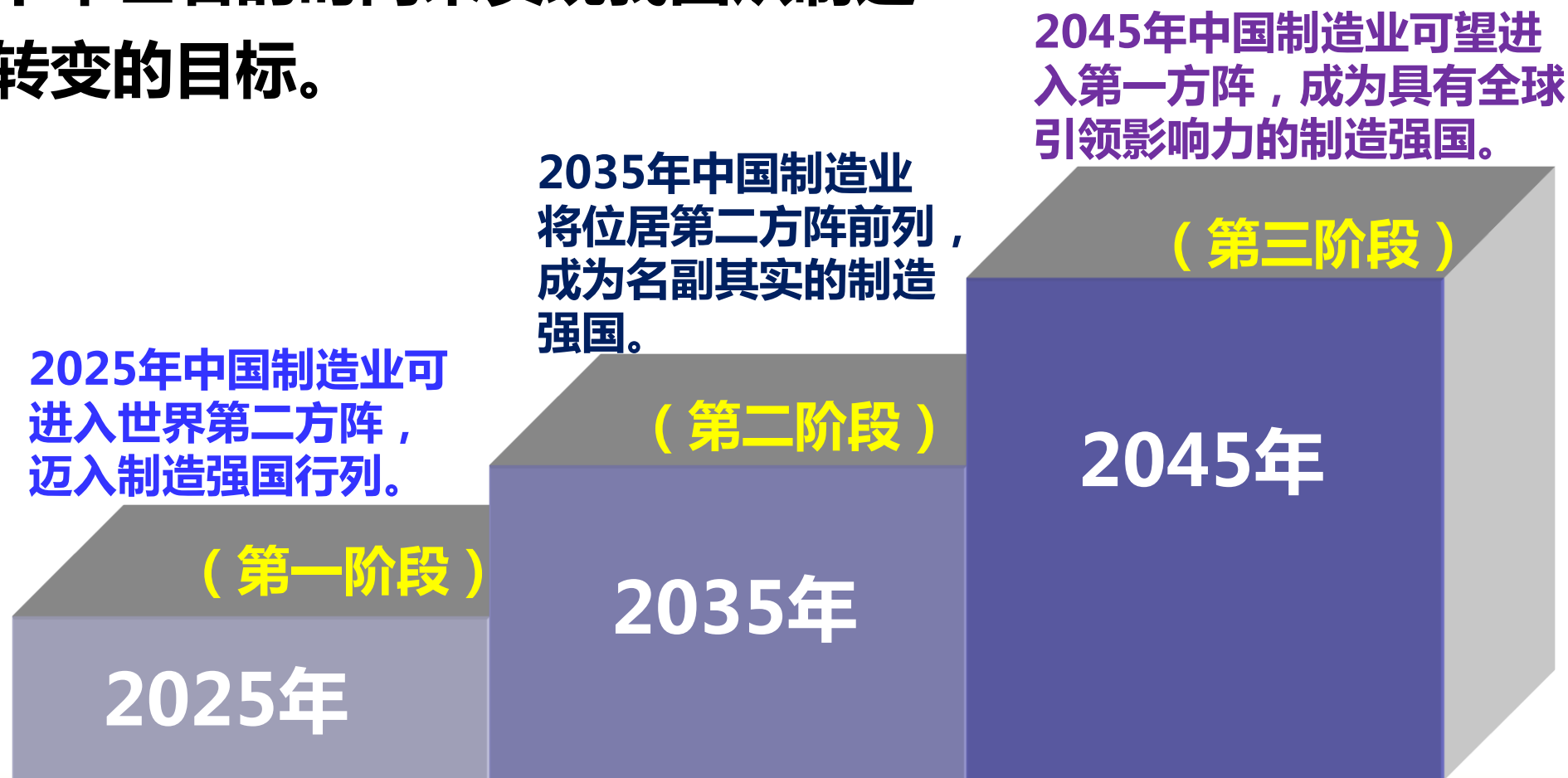
1. 智能制造是中国制造业转型升级的强烈需求
2. 智能制造为中国制造业跨越发展提供历史性机遇
3. 加快制定和扎实推进中国智能制造发展战略

3. 加快制定和扎实推进中国智能制造发展战略

**面对以智能制造为核心技术的新一轮工业革命，
世界各国尤其是发达国家都在结合自身实际和优势，
积极采取行动，抢占未来发展战略制高点，
确保本国在未来制造业竞争中的国际领先和主导地位。**

**美国发布“先进制造业伙伴计划”、
德国发布“工业4.0战略计划实施建议”、
日本提出“社会5.0战略”、
英国提出“工业2050战略”、
法国提出“未来工业计划”、
韩国提出“制造业创新3.0计划”，
都将发展智能制造作为本国
构建新形势下制造业竞争优势的关键举措，
并提出了相应的发展技术路线。**

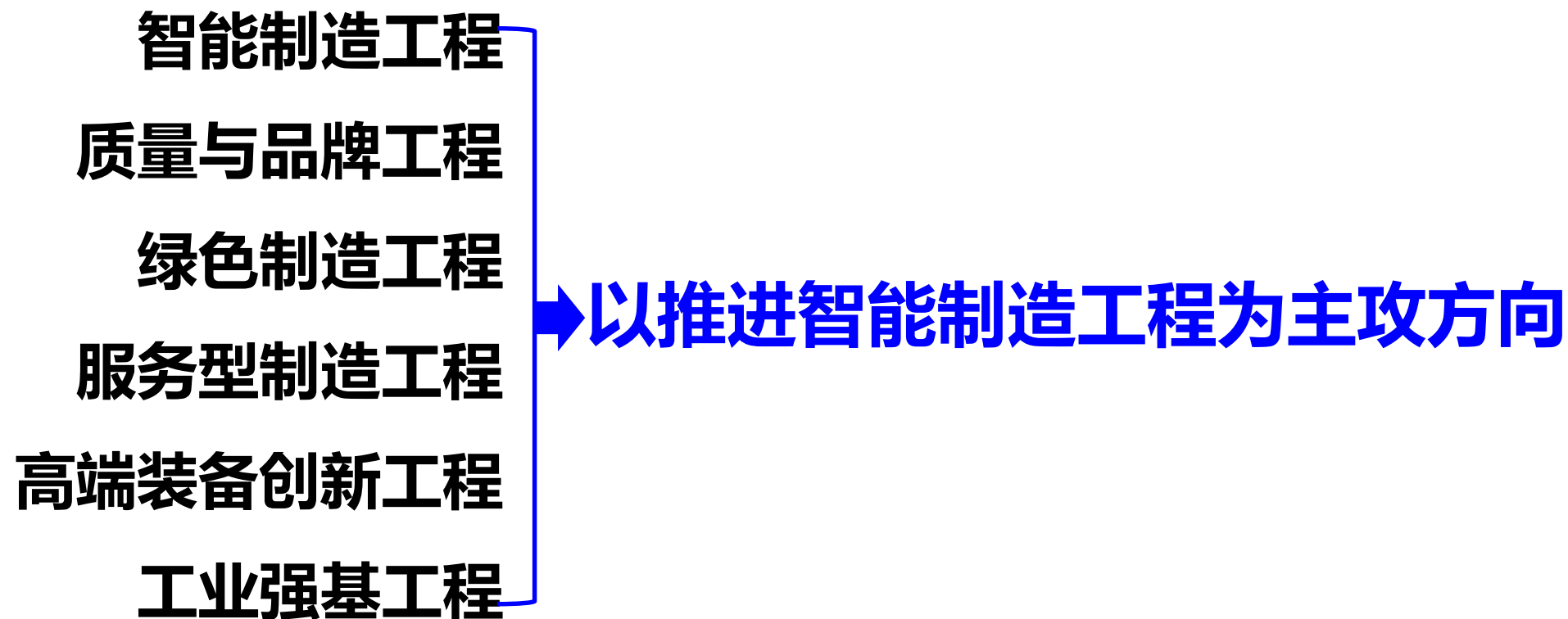
《中国制造2025》是**中国政府实施制造强国战略第一个十年**的行动纲领。
《中国制造2025》提出，要通过“三步走”的战略，
大体上每一步用十年左右的时间来实现我国从制造
大国向制造强国转变的目标。



- 这里“制造强国”有两重含义：
- 其一，“强”是**形容词**，中国由制造大国成为制造强国；
- 其二，“强”是**动词**，制造业强则国家强，通过制造业的发展使中国更加繁荣富强。

- 要强调的是，这里讲的制造业，既包括机械加工、装备制造等离散型制造业，也包括冶金、化工、生物制药等连续型（流程类）制造业。同时，未来先进制造业的范畴进一步扩大到材料制造——新材料的数字化设计与制造、生物制造——生物体的数字化设计与制造等等。

智能制造——制造业数字化网络化智能化是新一轮工业革命的核心技术，应该作为《中国制造2025》的**制高点、突破口和主攻方向**。



当前，《中国制造2025》进入全面部署、加快实施、深入推进的新阶段，企业对于新一轮工业革命热情高涨，对于实现智能转型升级愿望迫切。

我国虽然确立了智能制造的主攻方向，但是无论在技术层面，还是战略层面，都还没有做好充分准备，尤其是我国工业界尚未形成清晰的智能制造发展战略**，特别是发展的技术路线。**

广大企业在智能制造的理性认识、发展方向、工作重点、路径选择、实施策略等方面还存在许多困惑和误区。

**要推动我国智能制造持续健康快速发展，
必须结合世界技术发展趋势，
提出适合中国国情的智能制造发展战略，
特别是发展的技术路线，
明确智能制造发展的战略目标、方针和路径，
加快推进中国制造智能转型，
实现我国由制造大国向制造强国的转变。**

一、智能制造是《中国制造2025》的主攻方向

二、智能制造的基本范式与“并行推进、融合发展”的技术路线

三、新一代智能制造引领和推动新一轮工业革命

四、中国智能制造发展的战略建议和优先行动

**广义而论，智能制造是一个大概念，
是先进制造技术与新一代信息技术的深度融合，贯穿于
产品、制造、服务全生命周期的各个环节
及相应系统的优化集成，
实现制造的数字化、网络化、智能化，
不断提升企业的产品质量、效益、服务水平，
推动制造业创新、绿色、协调、开放、共享发展。**

**数十年来，
智能制造在实践演化中形成了许多不同的范式，
包括精益生产、柔性制造、并行工程、
敏捷制造、数字化制造、计算机集成制造、
网络化制造、云制造、智能化制造等，
在指导制造业智能转型中发挥了积极作用。**

**但同时，众多的范式
不利于形成统一的智能制造技术路线，
给企业在推进智能升级的实践中造成了许多困扰。
面对智能制造不断涌现的新技术、新理念、新模式，
迫切需要归纳总结出基本范式。**

智能制造的发展伴随着信息化的进步。

全球信息化发展可分为三个阶段：

从上世纪中叶到90年代中期，信息化表现为以计算、通讯和控制应用为主要特征的数字化阶段；

从上世纪九十年代中期开始，互联网大规模普及应用，信息化进入了以万物互联为主要特征的网络化阶段；

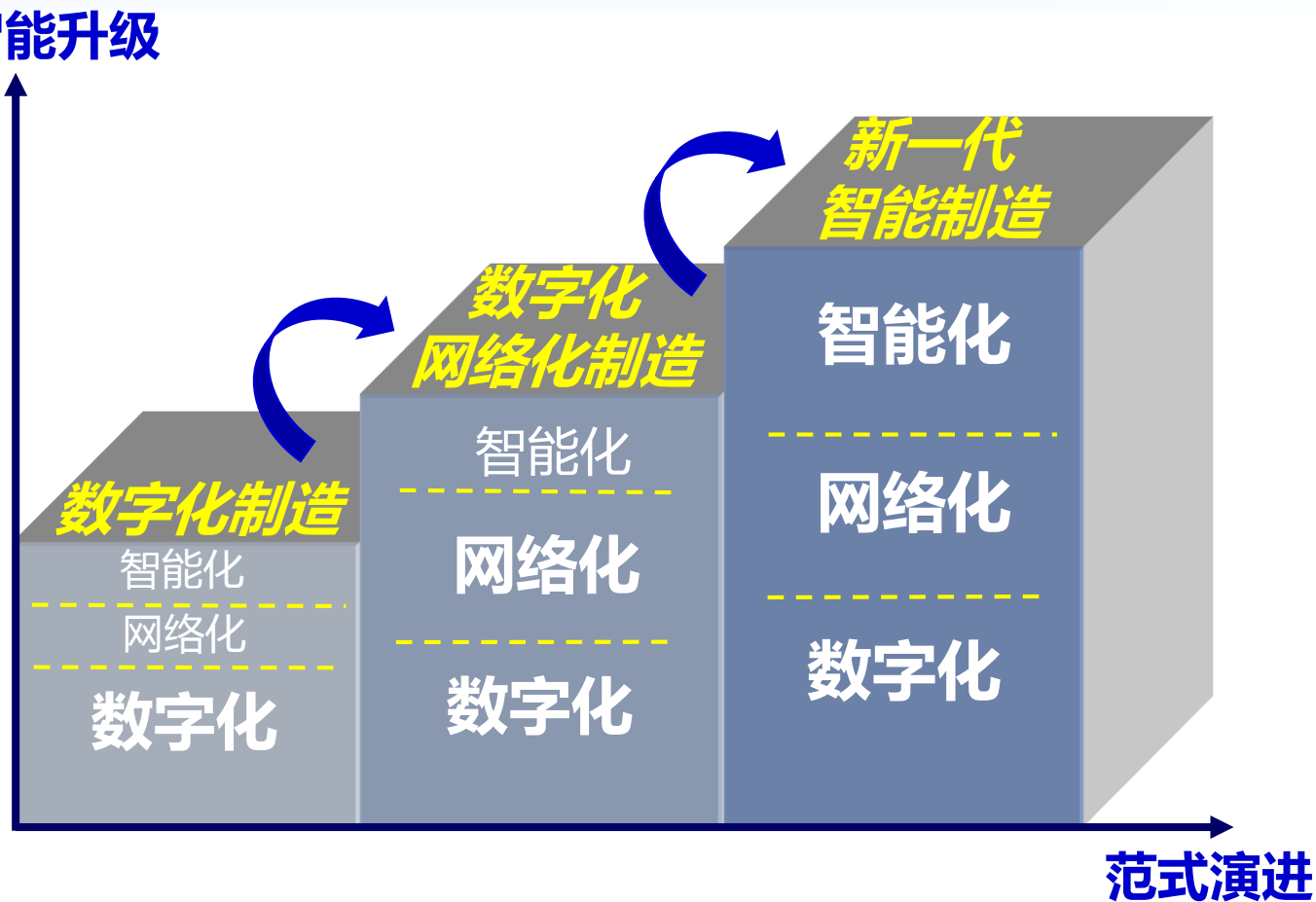
当前，在大数据、云计算、移动互联网、工业互联网集群突破、融合应用的基础上，人工智能实现战略性突破，信息化进入了以新一代人工智能技术为主要特征的智能化阶段。

综合智能制造相关范式，结合信息化与制造业在不同阶段的融合特征，可以总结、归纳和提升出**三种智能制造的基本范式**，也就是：

数字化制造、

数字化网络化制造、

数字化网络化智能化制造——新一代智能制造



二、智能制造基本范式与“并行推进、融合发展”的技术路线

1. 数字化制造

2. 数字化网络化制造

3. 新一代智能制造——数字化网络化智能化制造

4. 我国智能制造“并行推进、融合发展”的技术路线

5. 智能制造的总体架构

1. 数字化制造

**数字化制造是智能制造的第一种基本范式，
也可称为第一代智能制造。**

智能制造的概念最早出现于上世纪80年代，但是由于当时应用的第一代人工智能技术还难以解决工程实践问题，因而那一代智能制造主体上是数字化制造。

上世纪下半叶以来，随着制造业对于技术进步的强烈需求，以数字化为主要形式的信息技术广泛应用于制造业，推动制造业发生革命性变化。数字化制造是在数字化技术和制造技术融合的背景下，通过对产品信息、工艺信息和资源信息进行数字化描述、分析、决策和控制，快速生产出满足用户要求的产品。

数字化制造的主要特征表现为：

第一，数字技术在产品中得到普遍应用，形成“数字一代”创新产品；

第二，广泛应用数字化设计、建模仿真、数字化装备、信息化管理；

第三，实现生产过程的集成优化。

20世纪80年代以来，
我国企业逐步推进应用数字化制造，
取得了巨大的技术进步。
特别是近年来，各地大力推进“数控一代产品创新”、
“机器换人”、“数字化改造”，
一大批数字化产品涌现出来，
一大批数字化生产线、数字化车间、数字化工厂建立起来，
众多的企业完成了数字化制造升级，
我国数字化制造迈入了新的发展阶段。

**同时，我们必须清醒地认识到，
我国大多数企业，特别是广大中小企业，
还没有完成数字化制造转型。**

**面对这样的现实，
我国在推进智能制造过程中必须实事求是，
踏踏实实地完成数字化“补课”，
进一步夯实智能制造发展的基础。**

**需要说明的是，
数字化制造是智能制造的基础，
其内涵不断发展，
贯穿于智能制造的三个基本范式和全部发展历程。
这里定义的数字化制造是作为第一种基本范式的数字化制造，
是一种相对狭义的定位，
国际上也有关于数字化制造比较广义的定位和理论。**

二、智能制造基本范式与“并行推进、融合发展”的技术路线

1. 数字化制造

2. 数字化网络化制造

3. 新一代智能制造——数字化网络化智能化制造

4. 我国智能制造“并行推进、融合发展”的技术路线

5. 智能制造的总体架构

2. 数字化网络化制造

数字化网络化制造
是智能制造的**第二种基本范式**，
也可称为“**互联网+制造**”，
或**第二代智能制造**。

上世纪末互联网技术开始广泛应用，
“**互联网+**”不断推进互联网和制造业融合发展，
网络将人、流程、数据和事物连接起来，
通过企业内、企业间的协同和各种社会资源的共享与集成，
重塑制造业的价值链，
推动制造业从数字化制造向数字化网络化制造转变。

数字化网络化制造主要特征表现为：

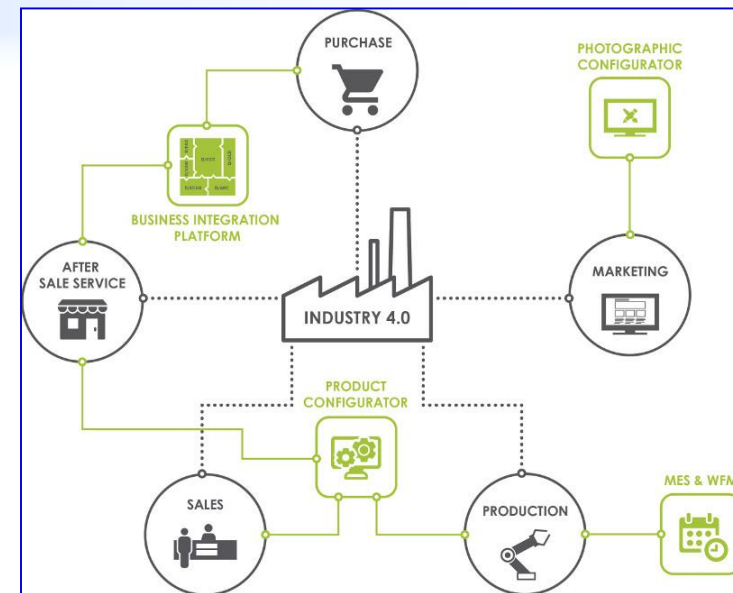
第一，在产品方面，数字技术、网络技术得到普遍应用，产品实现网络连接，设计、研发实现协同与共享。

第二，在制造方面，实现横向集成、纵向集成和端到端集成，打通整个制造系统的数据流、信息流。

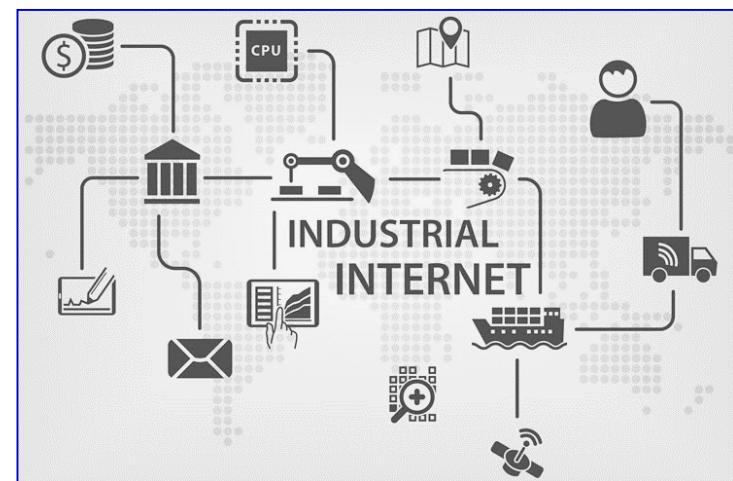
第三，在服务方面，企业与用户通过网络平台实现联接和交互，企业生产开始从以产品为中心向以用户为中心转型。

德国工业4.0 和美国工业互联网

完整地阐述了数字化网络化制造范式，
精辟地提出了实现数字化网络化制造的
技术路线。



德国工业4.0



美国工业互联网

我国工业界紧紧抓住互联网发展的战略机遇，
大力推进“**互联网+制造**”，
数字化网络化水平大大提高，
企业的需求极为迫切，发展的势头极为迅猛。

**一方面，
一批数字化制造基础较好的企业成功转型，
实现了数字化网络化制造；**

例1：三一重工

三一重工是我国工程机械领域最早进行数字化转型的企业，2008年筹建的三一重工18号厂房是亚洲最大的数字化制造车间。之后，三一重工推进网络化进程，自主部署基于设备全球互联的物联网、大数据平台，为用户提供**包括预测性维护、物联网金融**等新业务，显著提高了三一产品的质量、水平和效益。

目前，三一重工已发展成位居世界前列的工程机械制造企业。

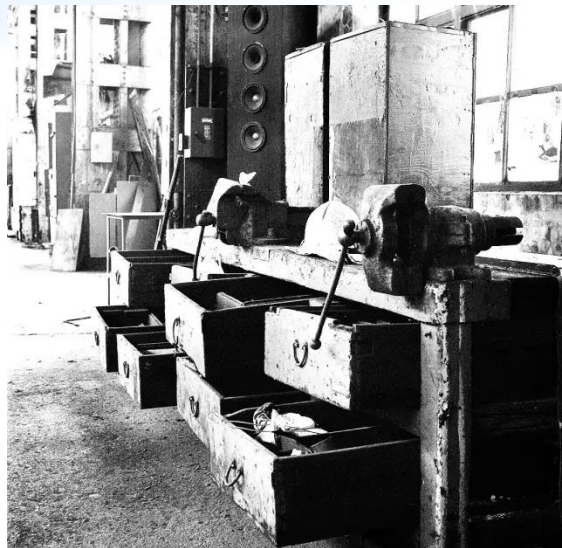


**另一方面，
大量原来还未完成数字化制造的企业，
则采用**并行推进**数字化制造和数字化网络化制造的技术路线，
完成了数字化制造的“补课”，
同时跨越到数字化网络化制造阶段，
实现了企业的优化升级。**

例2：浙江春风动力

春风动力原来是一家摩托车配件厂，数字化水平不高；通过“**互联网+创新+制造**”，很好地完成了数字化“补课”，全面打造了“制造云、电商云、物流云、设计云、流程云”，产品质量达到国际一流水平。

目前，春风动力已经发展成为特种摩托车行业的世界级“**隐形冠军**”企业。



1989年春风前身



现在的春风动力生产线

二、智能制造基本范式与“并行推进、融合发展”的技术路线

1. 数字化制造
2. 数字化网络化制造
- 3. 新一代智能制造——数字化网络化智能化制造**
4. 我国智能制造“并行推进、融合发展”的技术路线
5. 智能制造的总体架构

3. 新一代智能制造——数字化网络化智能化制造

数字化网络化智能化制造是智能制造的**第三种基本范式**，
也可称为新一代智能制造。

近年来，**人工智能加速发展，实现了战略性突破。**

先进制造技术与新一代人工智能技术深度融合，

形成了新一代智能制造
——数字化网络化智能化制造。

新一代智能制造的**主要特征**表现在
制造系统具备了“**学习**”能力。

通过深度学习、增强学习、迁移学习等技术的应用，
制造领域的知识产生、获取、应用和传承效率
将发生革命性变化，显著提高创新与服务能力。

**新一代智能制造是真正意义上的智能制造，
将从根本上引领和推进新一轮工业革命，
是我国制造业实现“换道超车”的重大机遇。**



智能制造的三个基本范式体现了智能制造发展的内在规律：

一方面，三个基本范式次第展开，各有自身阶段的特点和要重点解决的问题，体现着先进信息技术与先进制造技术融合发展的**阶段性特征**；

另一方面，三个基本范式在技术上并不是绝然分离的，而是相互交织、迭代升级，体现着智能制造发展的**融合性特征**。

对中国等新兴工业国家而言，应发挥后发优势，
采取三个基本范式“**并行推进、融合发展**”的技术路线。

二、智能制造基本范式与“并行推进、融合发展”的技术路线

1. 数字化制造
2. 数字化网络化制造
3. 新一代智能制造——数字化网络化智能化制造
- 4. 我国智能制造“并行推进、融合发展”的技术路线**
5. 智能制造的总体架构

4. 我国智能制造“并行推进、融合发展”的技术路线

智能制造在西方发达国家是一个“**串联式**”的发展过程，数字化、网络化、智能化是西方**顺序发展**智能制造的三个阶段。

“他们是用几十年时间充分发展数字化制造之后，再发展数字化网络化制造，进而迈向更高级的智能制造阶段。”

■ 在中国，制造业对于智能升级有着极为强烈的需求，近年来技术进步也很快，但是总体而言，中国智能制造的基础非常薄弱，大多数企业，特别是广大中小企业，还没有完成数字化制造转型。

面对这样的现实，
中国如何推进制造业的技术改造、智能升级？

- **首先，必须实事求是，中国企业在推进智能升级的过程中要踏踏实实地完成数字化“补课”，夯实智能制造发展的基础；**
- **同时，不必走西方发达国家“顺序发展”的路径，努力探索一条智能制造跨越式发展的新路。**
- **我国大力推进“互联网+制造”的成功实践给我们提供了重要的启示和宝贵的经验。**

■ **中国推进智能制造，应采取“并联式”的发展方式，采用“并行推进、融合发展”的技术路线：**

并行推进数字化制造、数字化网络化制造、新一代智能制造，以及时充分应用高速发展的先进信息技术和先进制造技术的融合式技术创新，引领和推进中国制造业的智能转型。

**未来若干年，考虑到中国智能制造发展的现状，
也考虑到新一代智能制造技术还不成熟，
中国制造业转型升级的工作重点
要放在大规模推广和全面应用“互联网+制造”；
同时，在大力普及“互联网+制造”的过程中，
要特别重视新一代智能制造技术的融合应用，
“以高打低、融合发展”。**

一方面，使得广大企业都能高质量完成“数字化补课”；
另一方面，尽快尽好应用新一代智能制造技术，
大大加速制造业转型升级的速度。

再过若干年，在新一代智能制造技术基本成熟之后，
中国制造业将进入
全面推广应用普及新一代智能制造的新阶段。

我国在推动三个基本范式“**融合发展**”时，
必须制定**统一的标准**，这对我国智能制造发展至关重要。

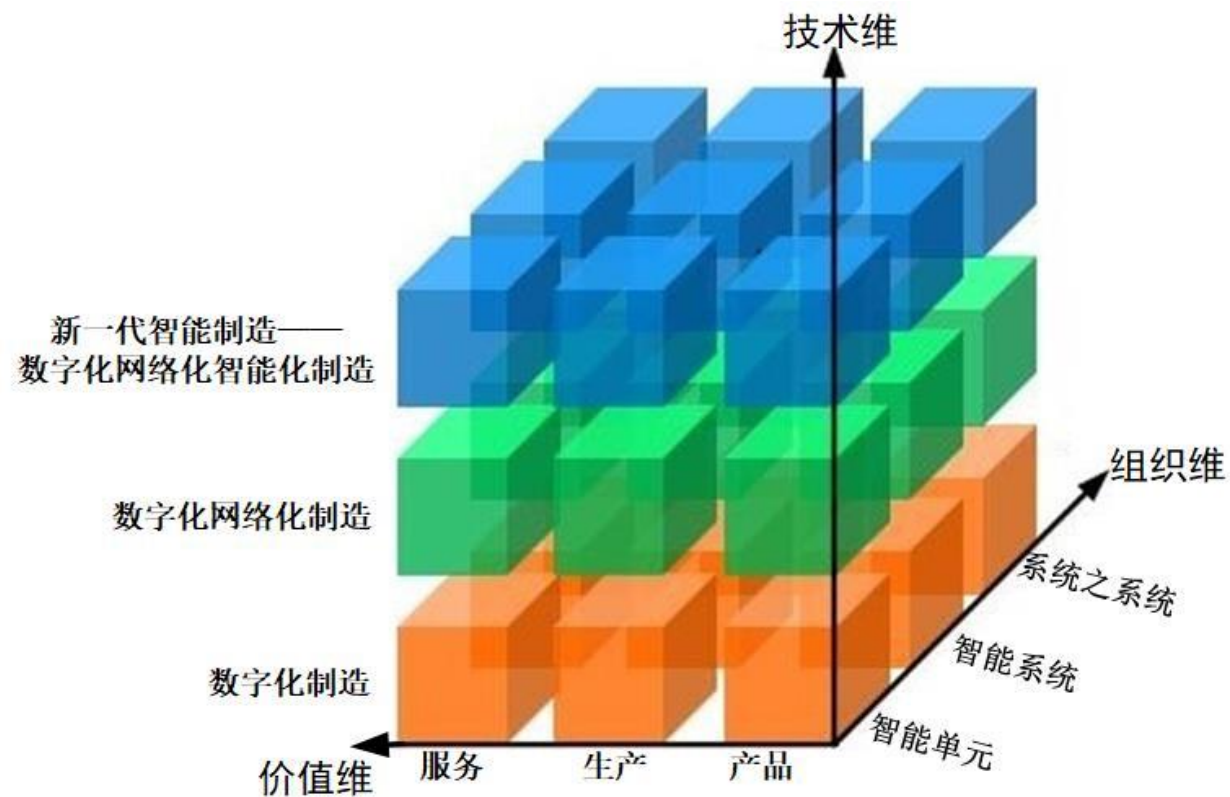
未来数十年，我国企业在智能升级过程中，将普遍面临多次范式转化和技术升级，必须高度重视制定和实行智能制造的相关标准，为后续发展做好准备，避免企业的低水平重复建设，有利于我国推进智能制造的分阶段实施和不断升级。

二、智能制造基本范式与“并行推进、融合发展”的技术路线

1. 数字化制造
2. 数字化网络化制造
3. 新一代智能制造——数字化网络化智能化制造
4. 我国智能制造“并行推进、融合发展”的技术路线
- 5. 智能制造的总体架构**

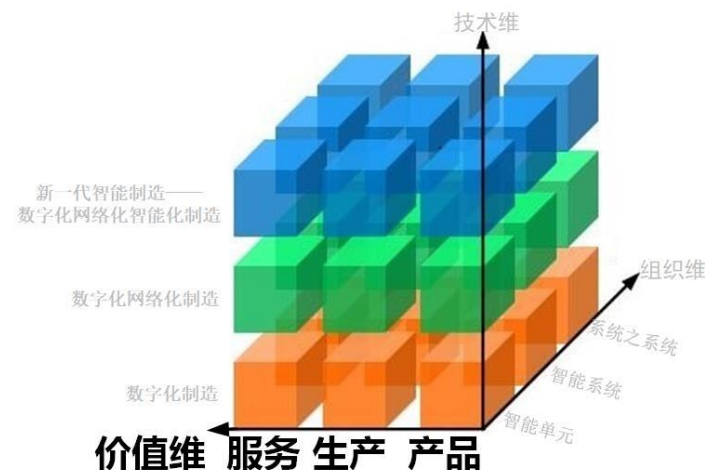
智能制造涵盖了产品、制造、服务全生命周期中所涉及的理论、方法、技术和应用，其总体架构可以从价值维、技术维和组织维三个维度描述。

智能制造总体架构

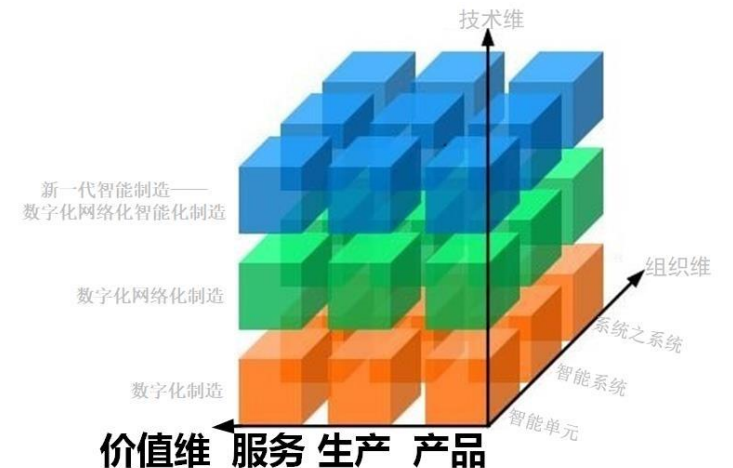


(1)价值维——以制造为主体的价值实现维度

- 智能制造的根本是制造，必须坚持以制造为主体。
- 智能制造的价值实现主要体现在产品、生产、服务三个方面及其系统集成。

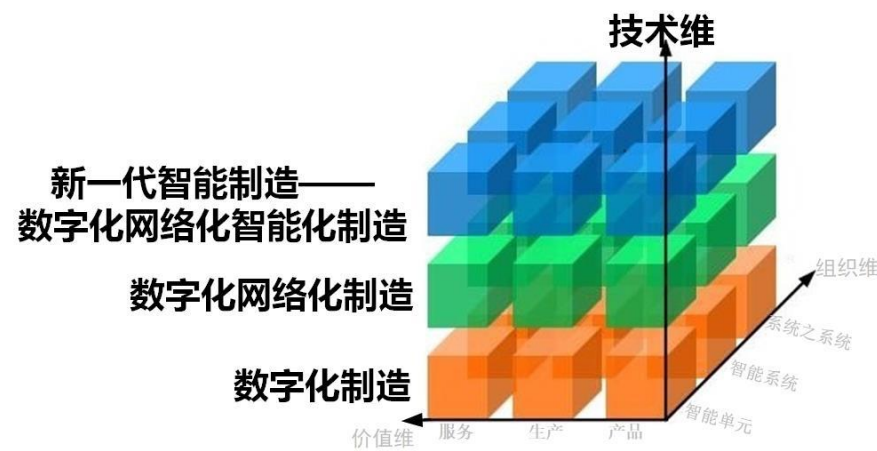


- **产品**包括智能制造的装备和各种产出物；
- **生产**包括基于产品的制造流程的各个环节；
- **服务**包括以用户为中心的产品全生命周期的各种服务，
- **系统集成**包括产品、制造、服务等价值链各环节的集成，系统集成消除各环节信息的不对称性，提高系统的可靠性，优化资源配置，提升质量和效益。



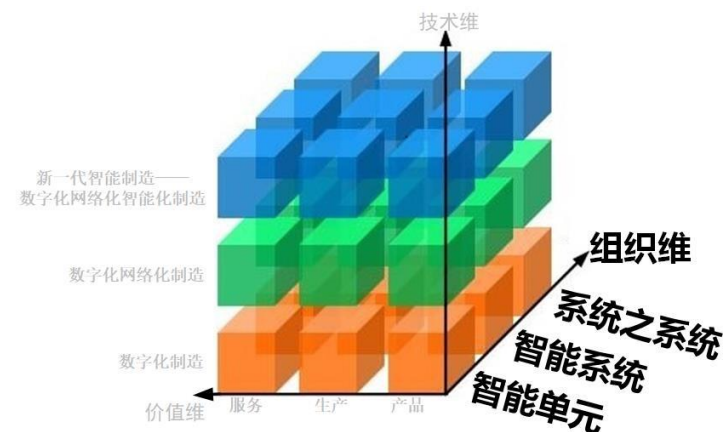
(2)技术维——以两化融合为主线的技术进化维度

- **两化融合**是信息化和工业化的深度结合。
- 智能制造从**技术演变的角度**体现为数字化制造、数字化网络化制造、新一代智能制造三个基本范式。



(3)组织维——以人为本的组织系统维度

- 人类实施智能制造的组织系统包含**智能单元**、**智能系统**和**系统之系统**三个层次。
- **智能单元**是实现智能制造功能的最小单元，可以是一个部件、产品或装备。
- **智能系统**通过工业网络集成多个智能单元，包括生产线、车间、企业等等多种形式。
- **系统之系统**是多个智能系统的有机结合，实现跨系统、跨平台的横向、纵向和端到端集成。



- 一、智能制造是《中国制造2025》的主攻方向
- 二、智能制造的基本范式与“并行推进、融合发展”的技术路线
- 三、新一代智能制造引领和推动新一轮工业革命**
- 四、中国智能制造发展的战略建议和优先行动

三、新一代智能制造引领和推动新一轮工业革命

1. 新一代智能制造的发展背景
2. 新一代智能制造的技术机理——HCPS
3. 新一代智能制造的基本组成与系统集成

(1) 制造业亟需一场革命性变革

- **当今世界，全球制造企业普遍面临着提高质量、增加效率、降低成本、快速响应的强烈需求，还要不断适应广大用户不断增长的个性化消费需求，应对资源能源环境约束进一步加大的挑战。**
- **然而，现有制造体系和制造水平已经难以满足高端化、个性化、智能化产品和服务增值升级的需求，制造业的进一步发展面临巨大瓶颈和困难。**

解决问题，迎接挑战，

迫切需要制造业的技术创新、智能升级。

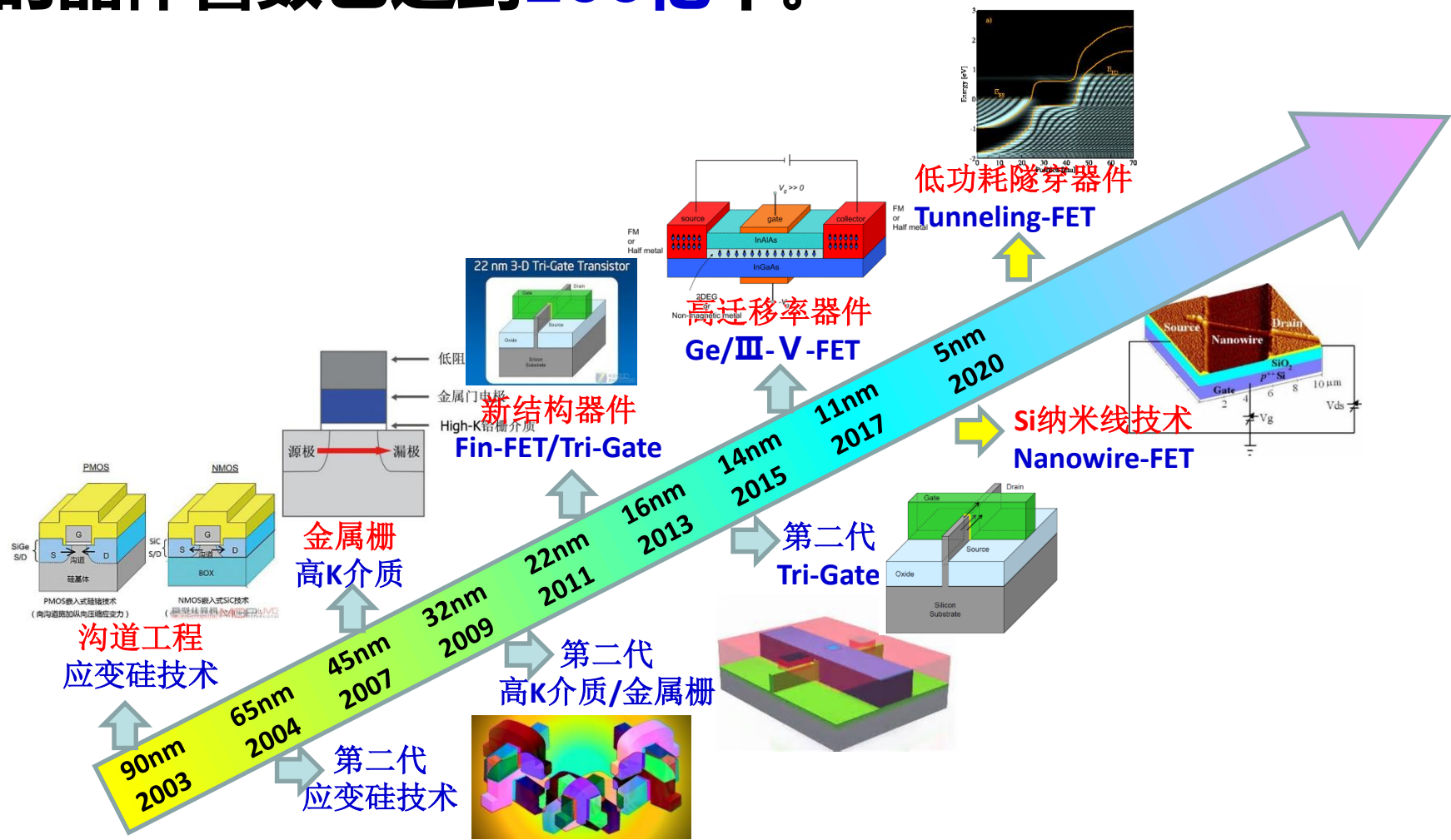
(2) 新一代人工智能技术给制造业变革带来重大机遇

**新世纪以来，
信息技术呈现指数级增长，
数字化网络化智能化加快普及应用，
制造系统集成式创新不断发展，
形成了新一轮工业革命的三大驱动力。**

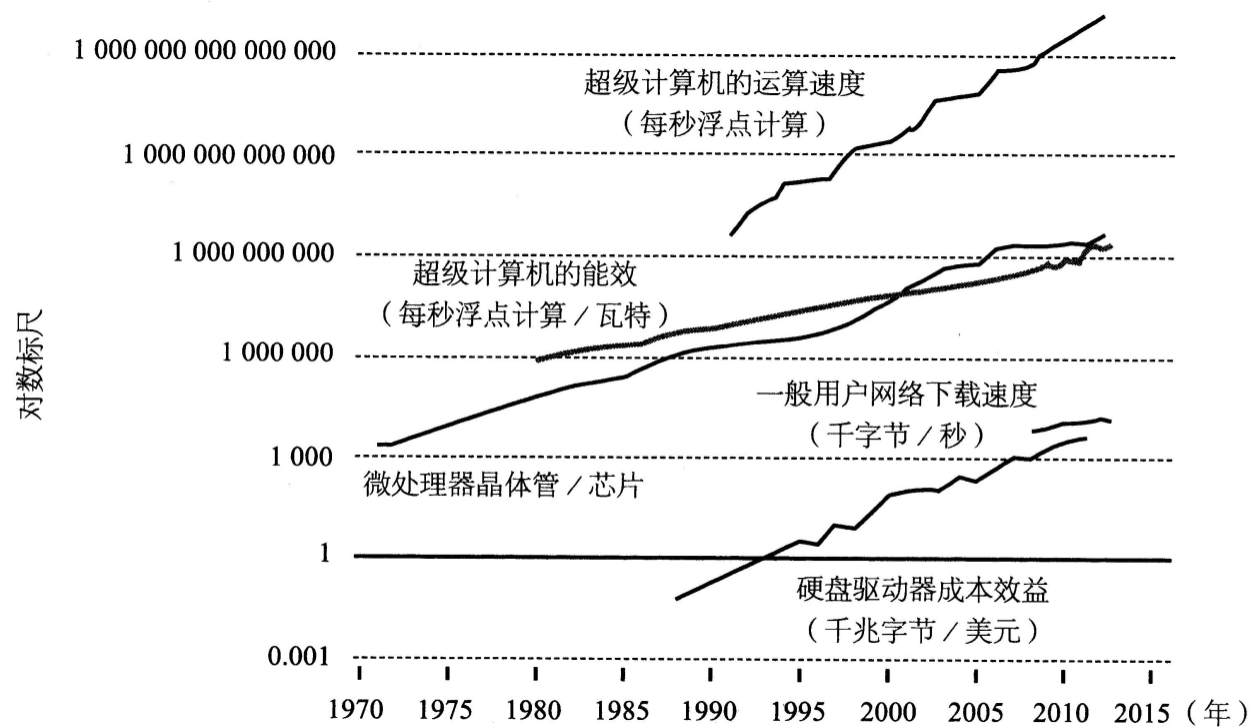
■ **一是信息技术指数级增长。**

50年来，半导体行业的传奇定律——摩尔定律标志着整个信息行业的飞跃。

50年来集成电路按照摩尔定律每18~24个月密度加倍，2017年一个CPU上的晶体管数已达到**200亿**个。



不仅仅是芯片，还有计算机、网络、通讯等 信息技术，都是在长期指数级增长。



- 特别是过去10年，**移动互联、超级计算、大数据、云计算、物联网**等新一代信息技术全都呈现出指数级增长的态势，日新月异、飞速发展，并极其迅速的普及应用，形成了群体性跨越。
- 信息技术指数级的增长使信息设备变得极快速、极廉价、更小、更轻，使得这些设备的性能提升到我们之前根本就无法想象的高度。

这是新一轮工业革命的第一大驱动力。

■ 二是数字化网络化智能化普及应用。

数字化、网络化和智能化使得信息的获取、使用、控制以及共享变得极其快速和廉价，产生出了真正的大数据，创新的速度大大加快，应用的范围无所不及。

■ 新一代信息技术极速普及应用，世上任何物体都可互联起来，可感知，可度量，可通讯，可操控，使人和物更聪明，操控更准确。人类社会——信息世界——物理世界三元融合，使信息服务进入了普惠计算和网络时代，正在进入智能时代，真正引发了一场革命。

这是新一轮工业革命的第二大驱动力。

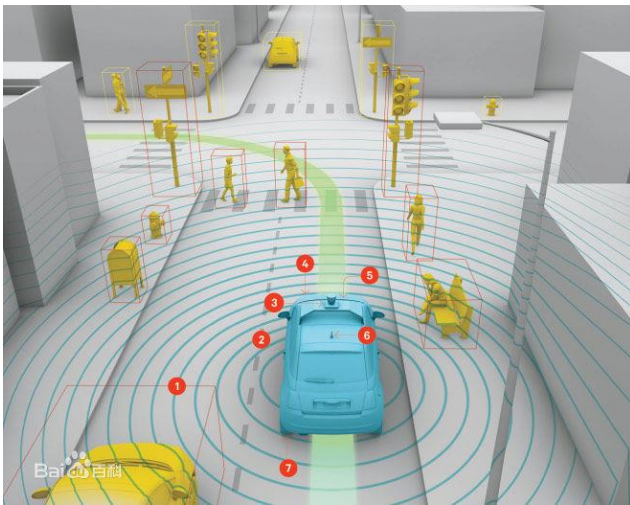
■ 三是技术融合和系统集成式创新。

当今，一种全新的创新方法——系统集成式创新应运而生。可能使用的各种技术并不是最新的创造，但这些技术的组合就是革命性的创新。

- 苹果系列产品、特斯拉电动汽车就是系统集成式创新的**成功典范**，通过采用各种最新信息技术、管理技术与工具，对各个创新要素和创新内容进行选择、集成和优化，形成了优势互补的动态创新过程，引领着制造业“创新驱动，转型升级”的历史潮流。



■ **Google和百度**进入汽车制造业，本身就意味着一个新的制造业时代的到来。无人驾驶汽车集成了各种先进的信息获取、传递、控制和应用技术，突出了新的智能技术和软件技术，融合了先进制造技术，在很短时间内取得了标志性的突破，是系统集成式创新的典范。



- **未来最大的机会来自新兴技术和现有技术之间的相互作用和融合，这将颠覆未来的技术和产业。**

系统决定成败，集成者得天下。

这是成就新一轮工业革命的第三大驱动力。

**这些历史性的技术进步，
这三大新一轮工业革命的主要驱动力，
集中汇聚在新一代人工智能技术的战略性突破
和快速转化为现实生产力。**



标志性事件

- 2016年Google AlphaGo以4:1战胜围棋世界冠军李世石。

AlphaGo Lee采用改进的蒙特卡洛决策树算法与深度神经网络算法相结合构建学习系统，在收集到的16万围棋棋谱基础上，通过自我对局三千万盘的方式训练，得到了高水平围棋程序。



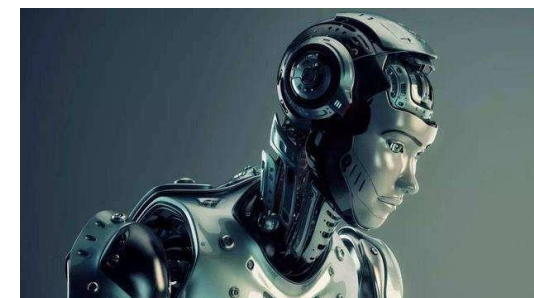
标志性事件

■ 2017年，AlphaGo再进化

DeepMind发布新版AlphaGo软件——AlphaGo Zero。

它可在给定规则的情况下，不依靠人类经验棋谱，通过**自我对弈进行学习**，它利用强化学习技术在不断训练的过程中，靠自己的能力逐渐学会围棋中的高级概念和博弈技术。

经过3天的训练后，这套系统已经可以击败2016年的AlphaGo，比分高达100比0。



**这个重大历史性事件，
标志着“新一代人工智能”时代的到来。**

为什么是“新一代人工智能”？

- 60 年前，1956 年，一批顶级专家在美国达特茅斯（Dartmouth）聚会，首次确定了“人工智能”概念：让机器像人那样认知、思考和学习，即用计算机模拟人的智能。
- 60年来，人工智能技术几起几伏，顽强地奋斗，不断地前进，但总体而言，还是属于第一代技术，属于“人工智能1.0”时代。

六十年一甲子，量变到质变。

近年来，随着计算能力的极大提高，

互联网引发了真正的大数据，

在各种先进技术互融互通的基础上，

人工智能技术已经实现战略突破，

进入了“新一代人工智能”（AI2.0）时代。

- 新一代人工智能呈现出深度学习、跨界融合、人机协同、群体智能等新特征，大数据智能、跨媒体智能、人机混合增强智能、群体集成智能和自主智能装备正在成为发展重点。



- 最关键的是，新一代人工智能解决复杂问题的方法从“**强调因果关系**”的传统模式向“**强调关联关系**”创新模式转变，进而向“**关联关系**”和“**因果关系**”深度融合的先进模式发展，解决复杂问题的能力突飞猛进。
- 最本质的是，新一代人工智能具备了学习的能力，具备了**生成知识和更好地运用知识的能力**，实现了质的飞跃。
- 新一代人工智能为人类提供了认识复杂系统的**新思维**，提供了改造自然和社会的**新技术**。

■ 当然，新一代人工智能还在极速发展的过程中，将继续从弱人工智能迈向强人工智能，**不断拓展人类“脑力”**，应用范围将更加泛在、无所不在。

■ **总之，新一代人工智能已经成为新一轮科技革命的核心技术，正在形成推动经济社会发展的巨大引擎。**

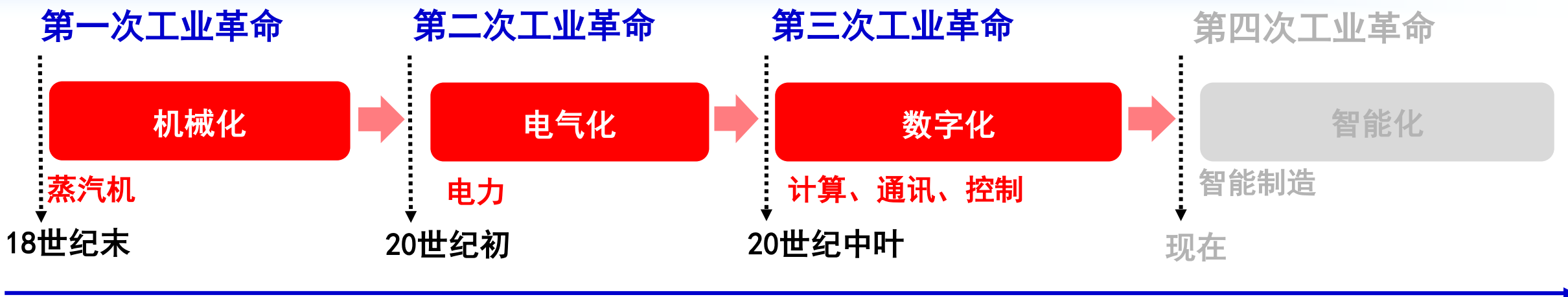
**充分认识到新一代人工智能技术的发展
将深刻改变人类社会生活、改变世界，
我们国家发布了“新一代人工智能发展规划”，
以抓住机遇，抢占先机。**

**世界各国也都把新一代人工智能的发展
摆在了最重要的位置。**

**新一代人工智能技术与先进制造技术的深度融合，
形成了新一代智能制造技术，
成为了新一轮工业革命的核心驱动力。**

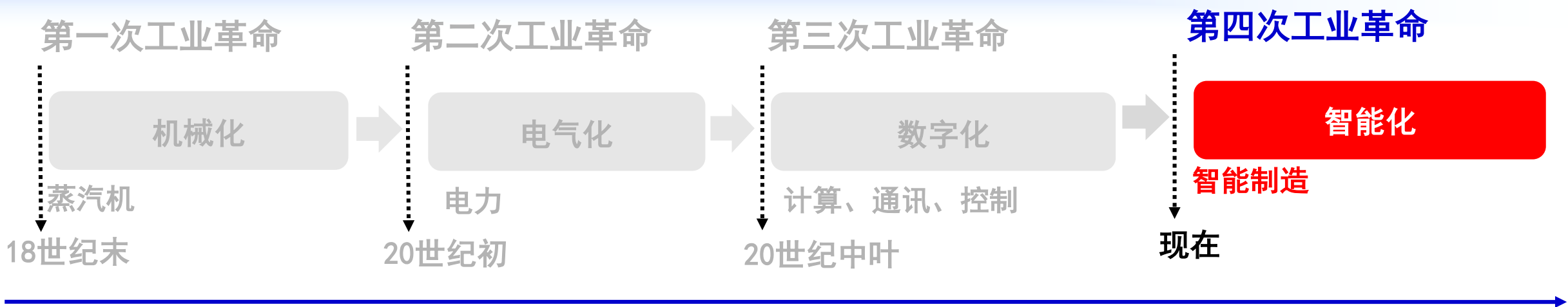
(3) 新一代智能制造是新一轮工业革命的核心技术

**科学技术是第一生产力，
科技创新是经济社会发展的根本动力。**

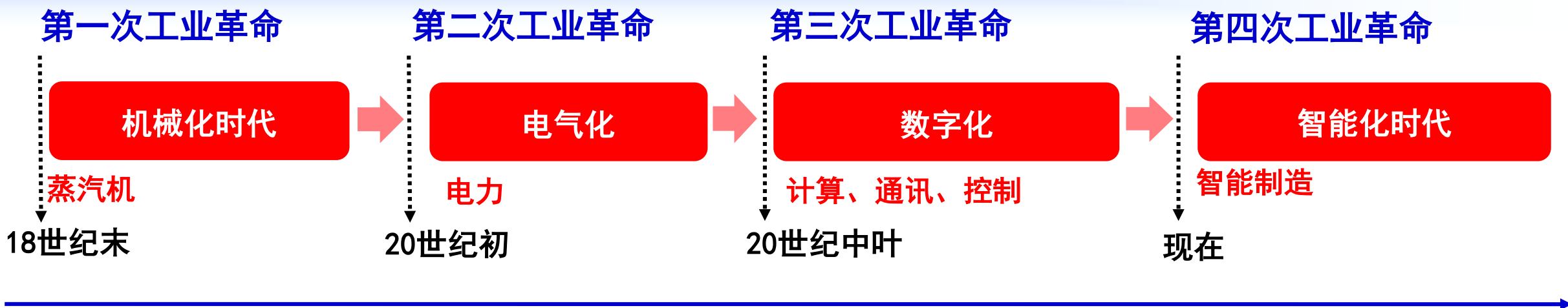


第一次工业革命和第二次工业革命分别以蒸汽机和电力的发明和应用为根本动力，极大地提高了生产力，人类社会进入了现代工业社会。

第三次工业革命，以计算、通讯、控制等信息技术的创新与应用为标志，持续将工业发展推向新高度。



新一代人工智能突破和应用进一步提升了制造业数字化网络化智能化的水平，从根本上提高工业**知识产生和利用的效率**，极大地解放人的体力和脑力，创新的速度大大加快，应用的范围更加泛在，从而推动制造业发展步入新阶段，即数字化网络化智能化制造——**新一代智能制造**。



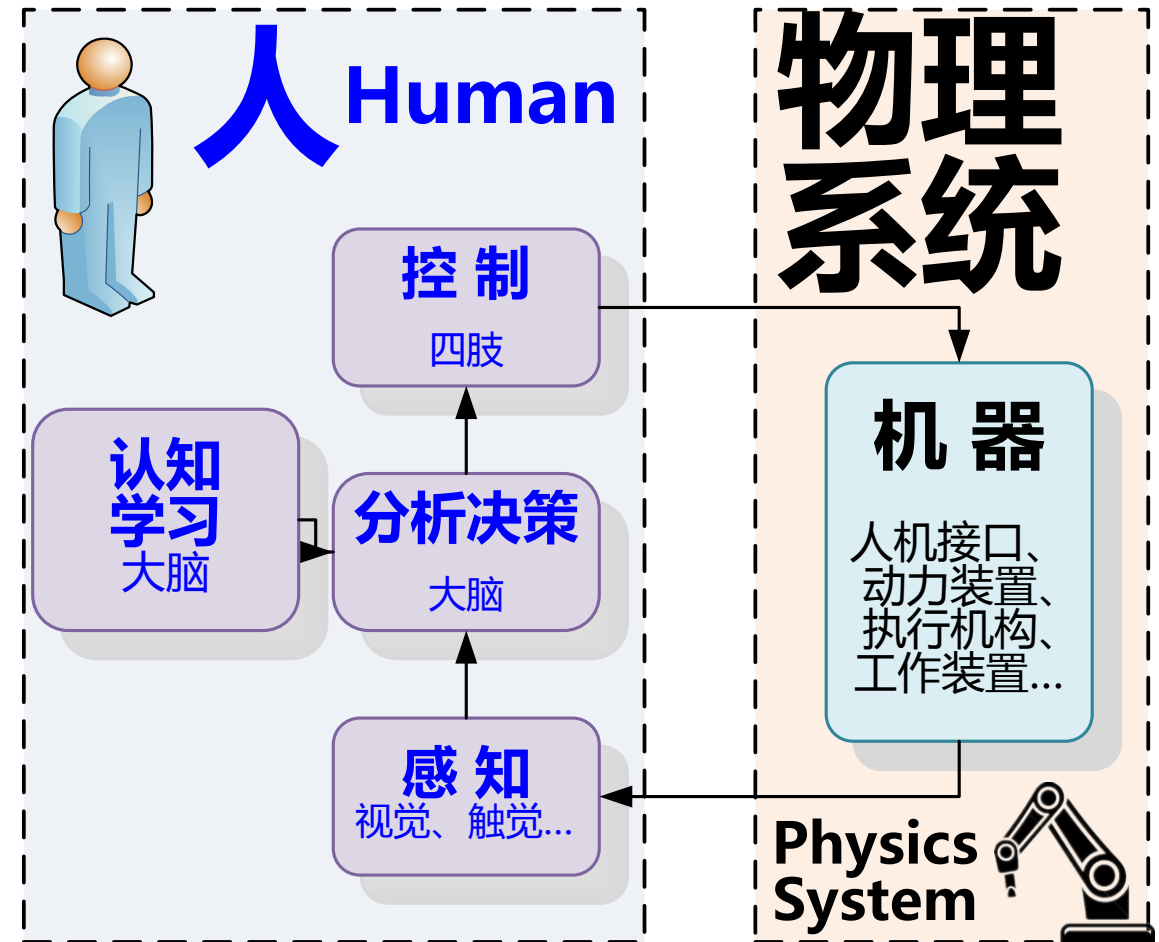
如果说数字化网络化制造是新一轮工业革命的开始，那么**新一代智能制造的突破和广泛应用**将推动形成这次工业革命的高潮，重塑制造业的技术体系、生产模式、产业形态，并将引领真正意义上的“工业4.0”，实现第四次工业革命。

三、新一代智能制造引领和推动新一轮工业革命

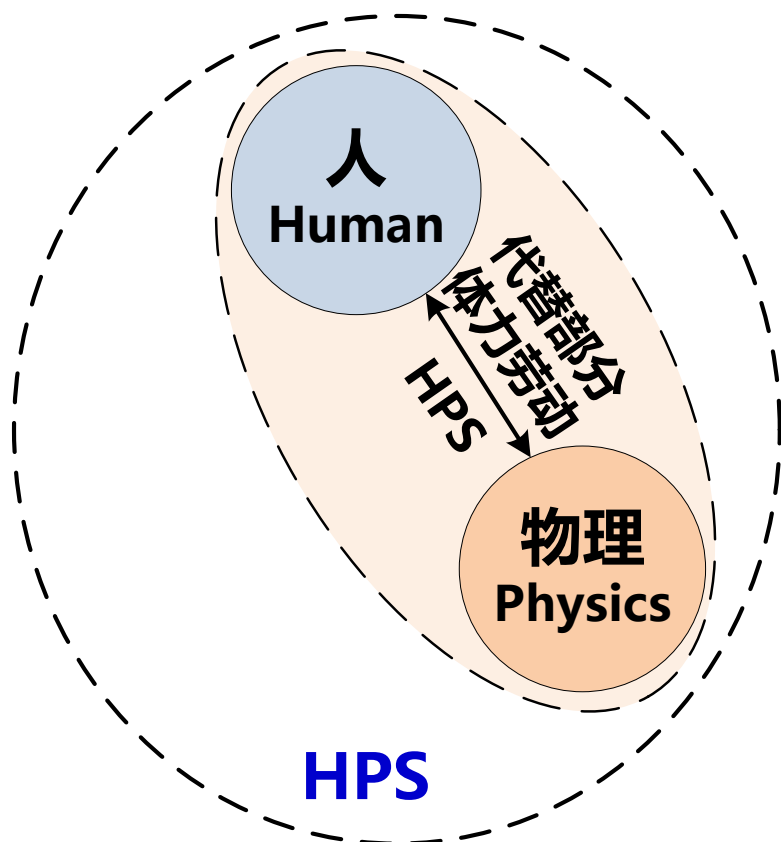
1. 新一代智能制造的发展背景
- 2. 新一代智能制造的技术机理——HCPS**
3. 新一代智能制造的基本组成与系统集成

2. 新一代智能制造的技术机理：人-信息-物理系统(HCPS)

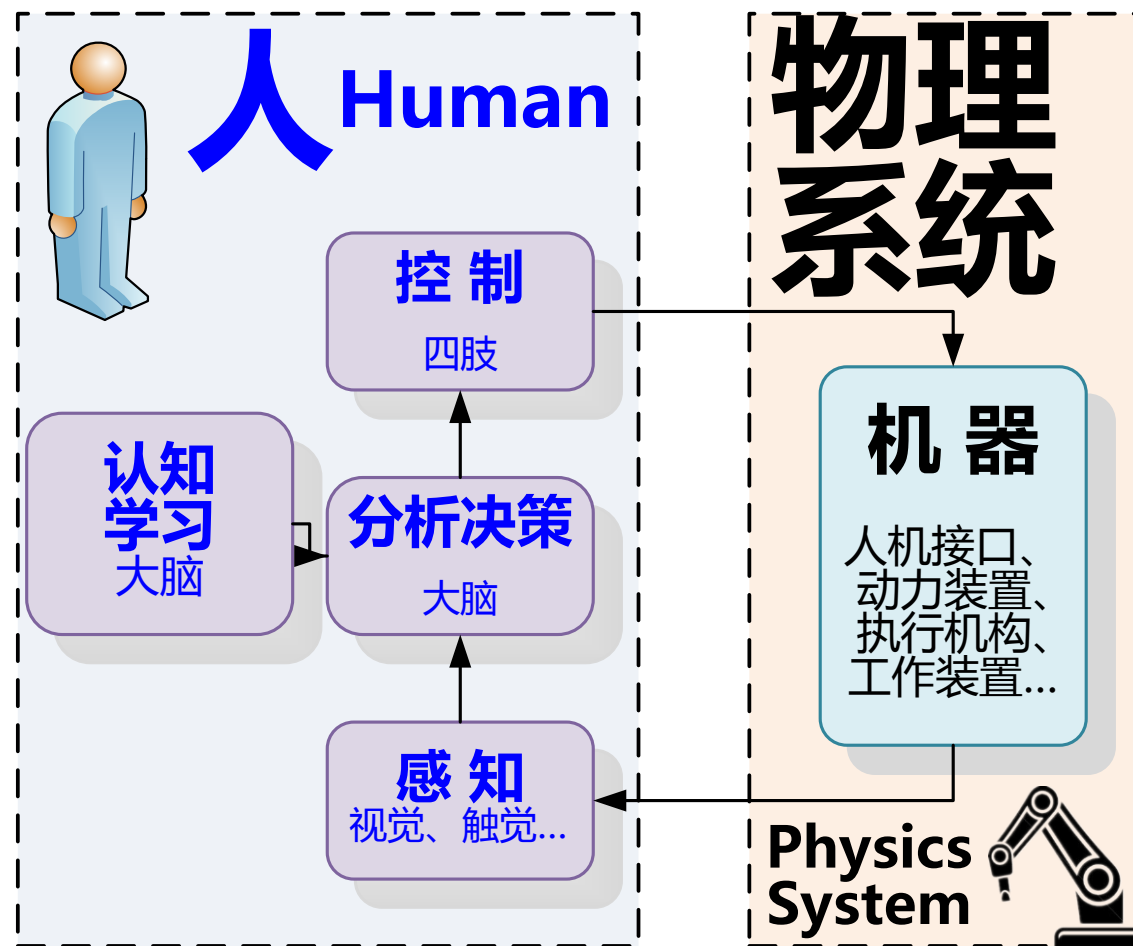
(1) 传统制造系统包含人和物理系统两大部分，是通过人对机器的直接操作控制去完成各种工作任务，同时，相关感知、分析决策以及学习认知等活动也都由人完成。



在这个阶段，物理系统可代替人类的大量体力劳动，制造的质量和效率不断提高。左下图是这个“人-物理系统”（HPS—Human-Physics Systems）的原理简图。

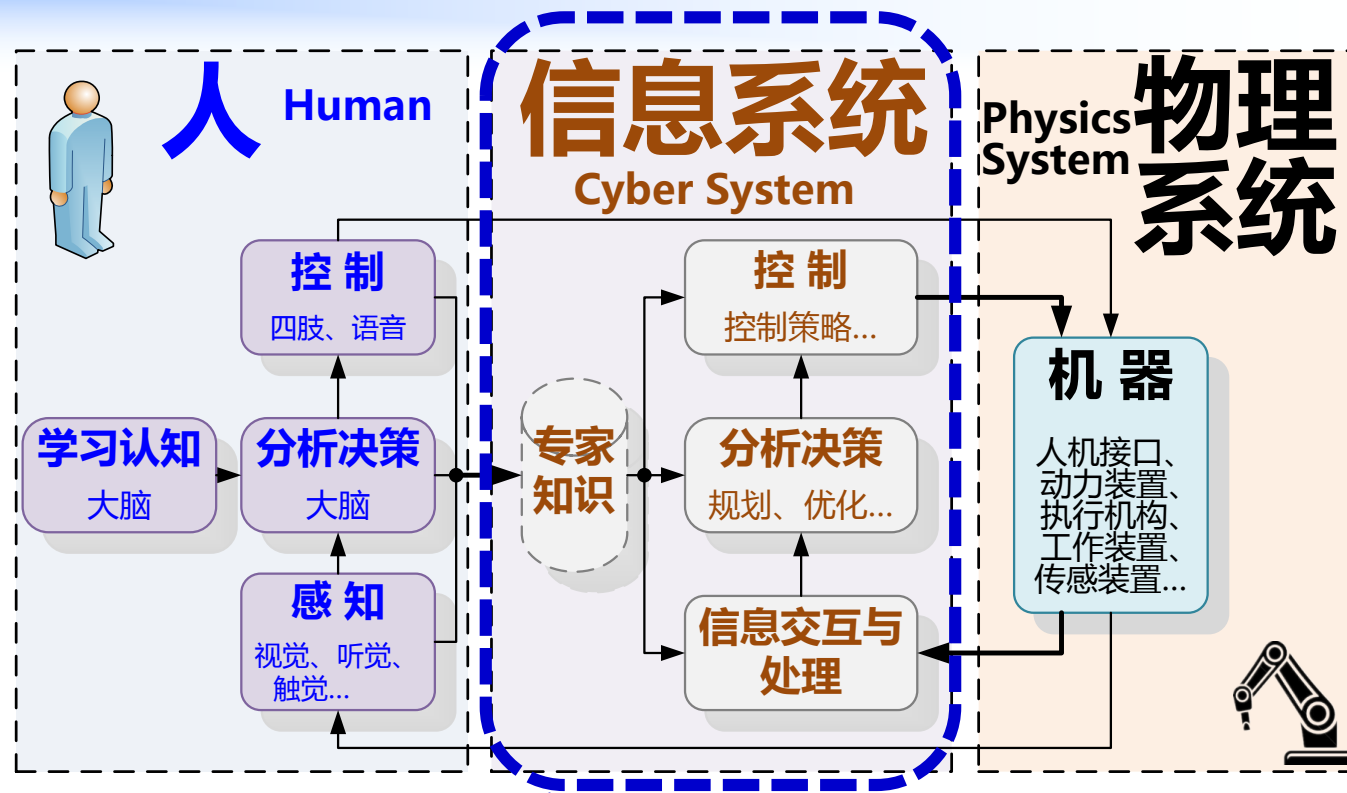


简图



“人-物理”系统
传统制造系统

(2) 与传统制造系统相比，第一代和第二代智能制造系统发生的最本质的变化是，在人和物理系统之间增加了信息系统 (Cyber system)，

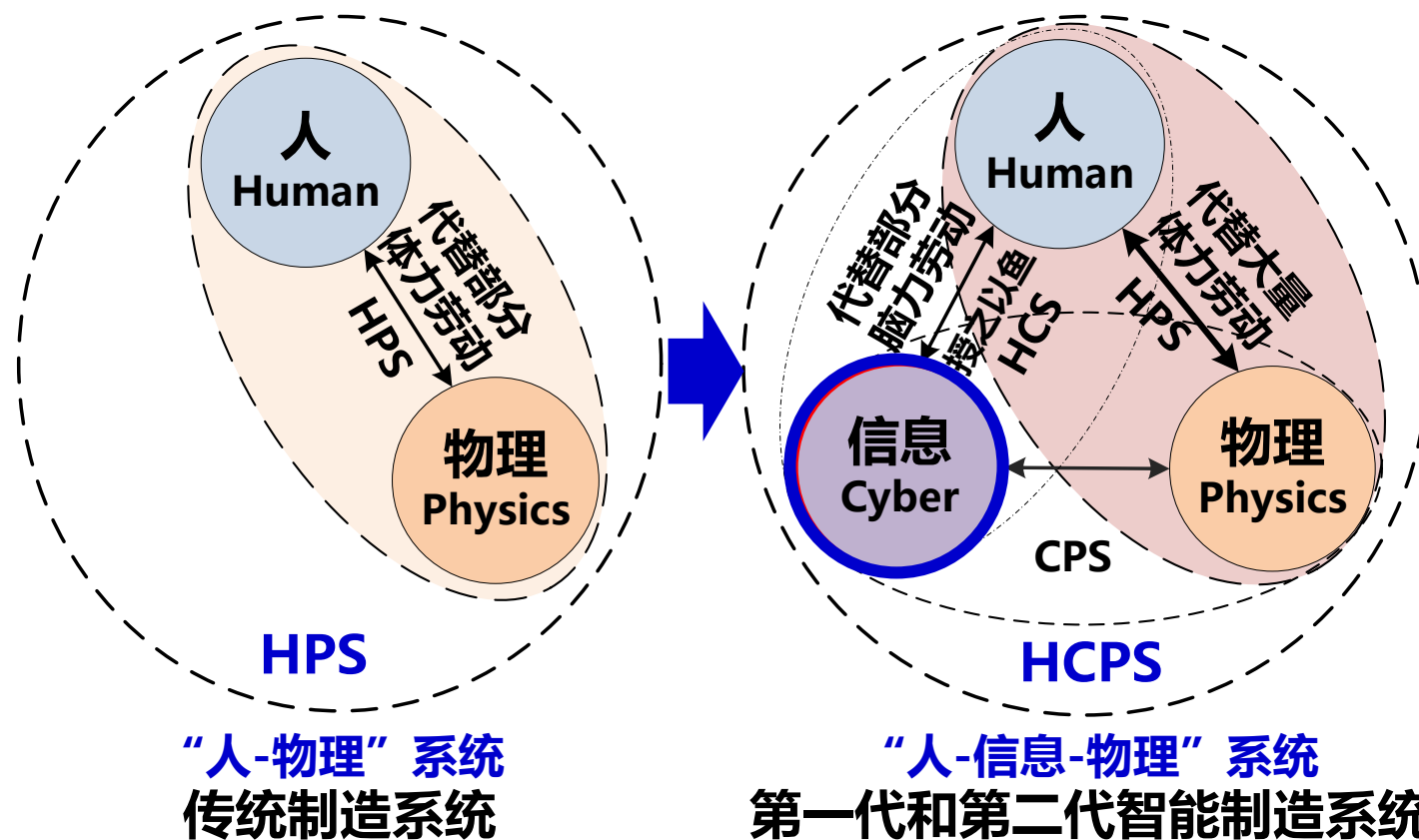


人的部分感知、分析、决策功能向信息系统复制迁移，人进而可以通过信息系统来控制物理系统，以代替人类完成更多的体力劳动。

- 第一代和第二代智能制造系统通过**集成人、信息系统和物理系统的各自优势**，系统的能力尤其是计算分析、精确控制以及感知能力都得以很大提高，其结果是：
- 一方面，系统的工作效率、质量与稳定性均得以显著提升；
- 另一方面，人的相关制造经验和知识转移到信息系统，能够有效提高人的知识的传承和利用效率。



在这一阶段，制造系统从“人-物理系统”演进为“人-信息-物理系统”（HCPS—Human-Cyber-Physics Systems），如图所示。



后者对于前者最本质的进步在于增加信息系统（Cyber System），从二元系统进化为三元系统。

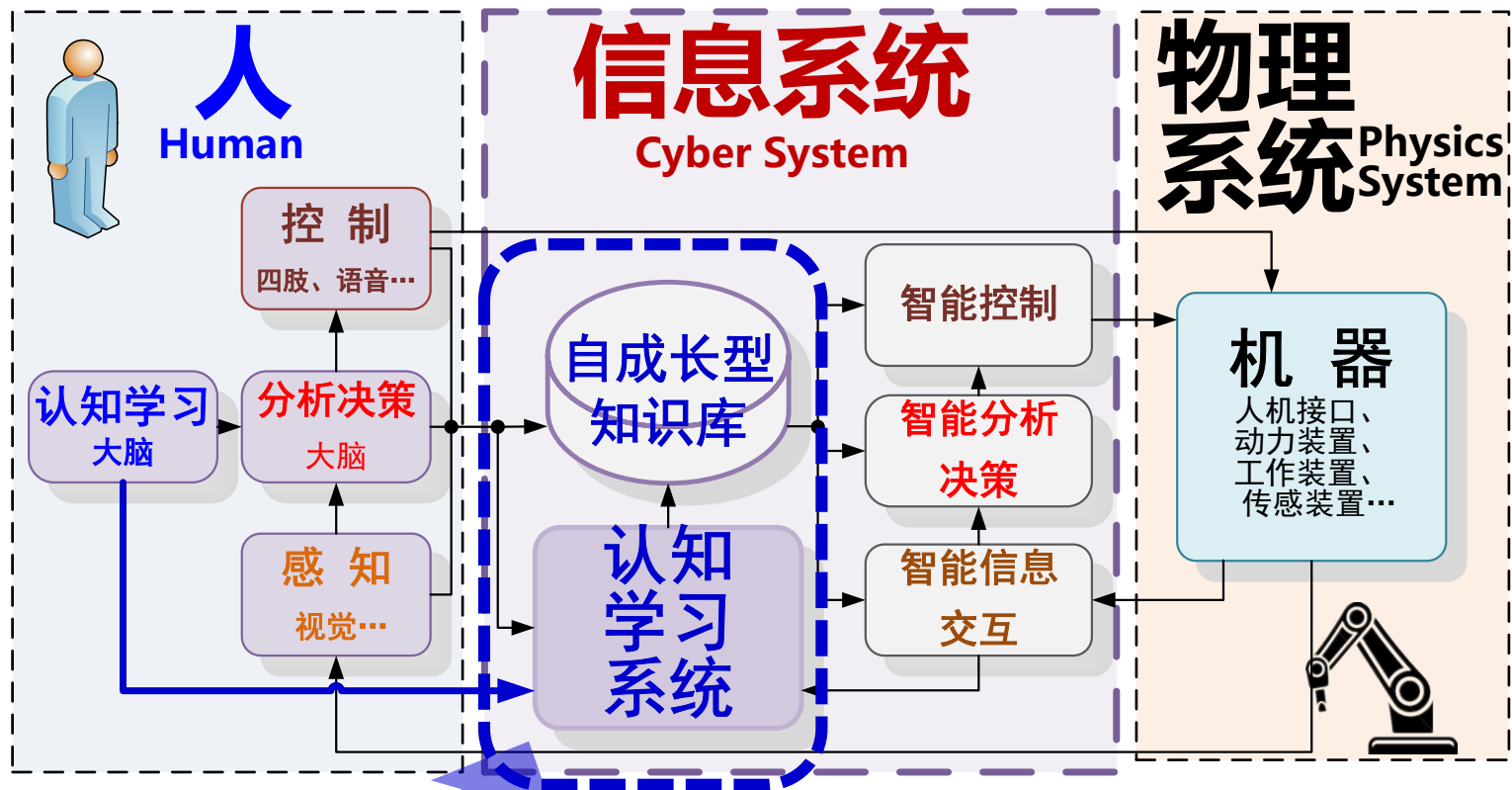
■ 信息系统（Cyber system）的引入使得制造系统同时增加了“人-信息系统”（HCS—Human-Cyber Systems）和“信息-物理系统”（CPS—Cyber-Physical Systems）。

■ 其中，“信息-物理系统”（CPS—Cyber-Physics Systems）是非常重要的组成部分。美国在本世纪初提出了“信息-物理系统”（CPS）的理论，德国将其作为工业4.0的核心技术。

“信息-物理系统”（CPS）在工程上的应用是实现信息系统和物理系统的深度融合，即实现了数字双胞胎（Digital Twin），成为实现第一代和第二代智能制造的技术基础。

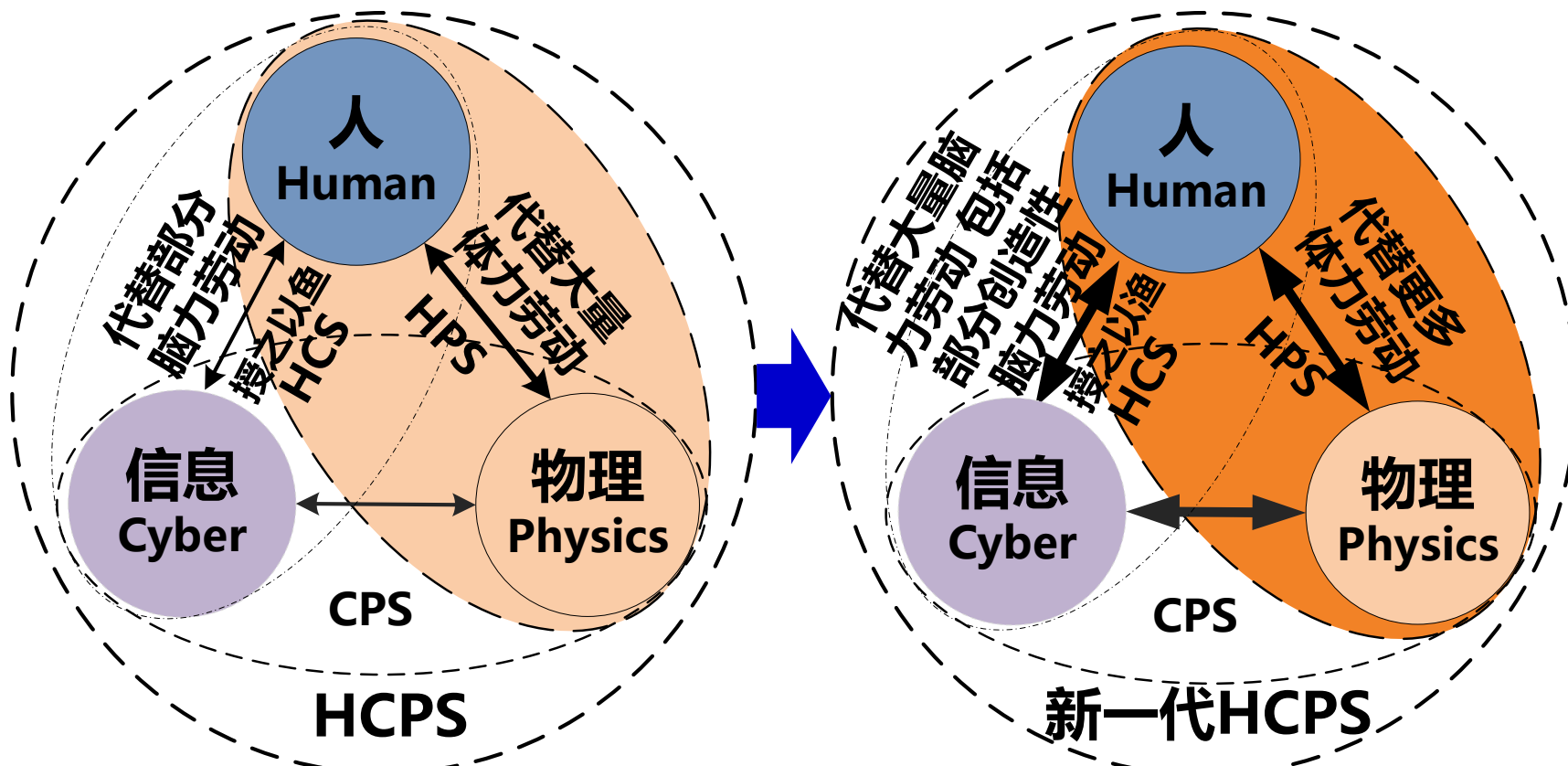


(3) 新一代智能制造系统最本质的特征是其信息系统增加了认知和学习的功能，信息系统不仅具有强大的感知、计算分析与控制能力，更具有了学习提升、产生知识的能力。



在这一阶段，**新一代人工智能技术将使“人-信息-物理系统”**发生质的变化，形成**新一代“人-信息-物理系统”**。

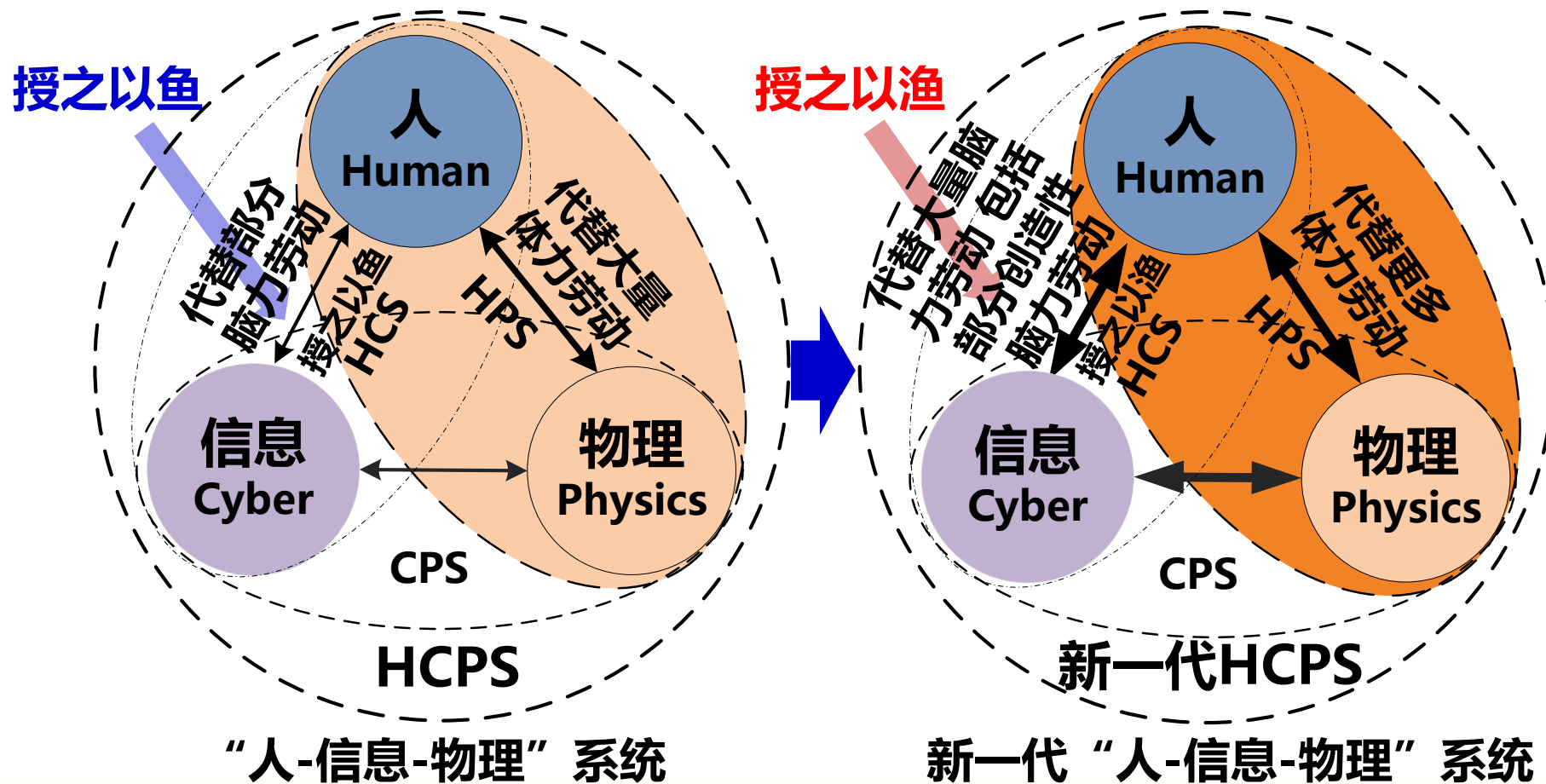
主要变化在于两点：



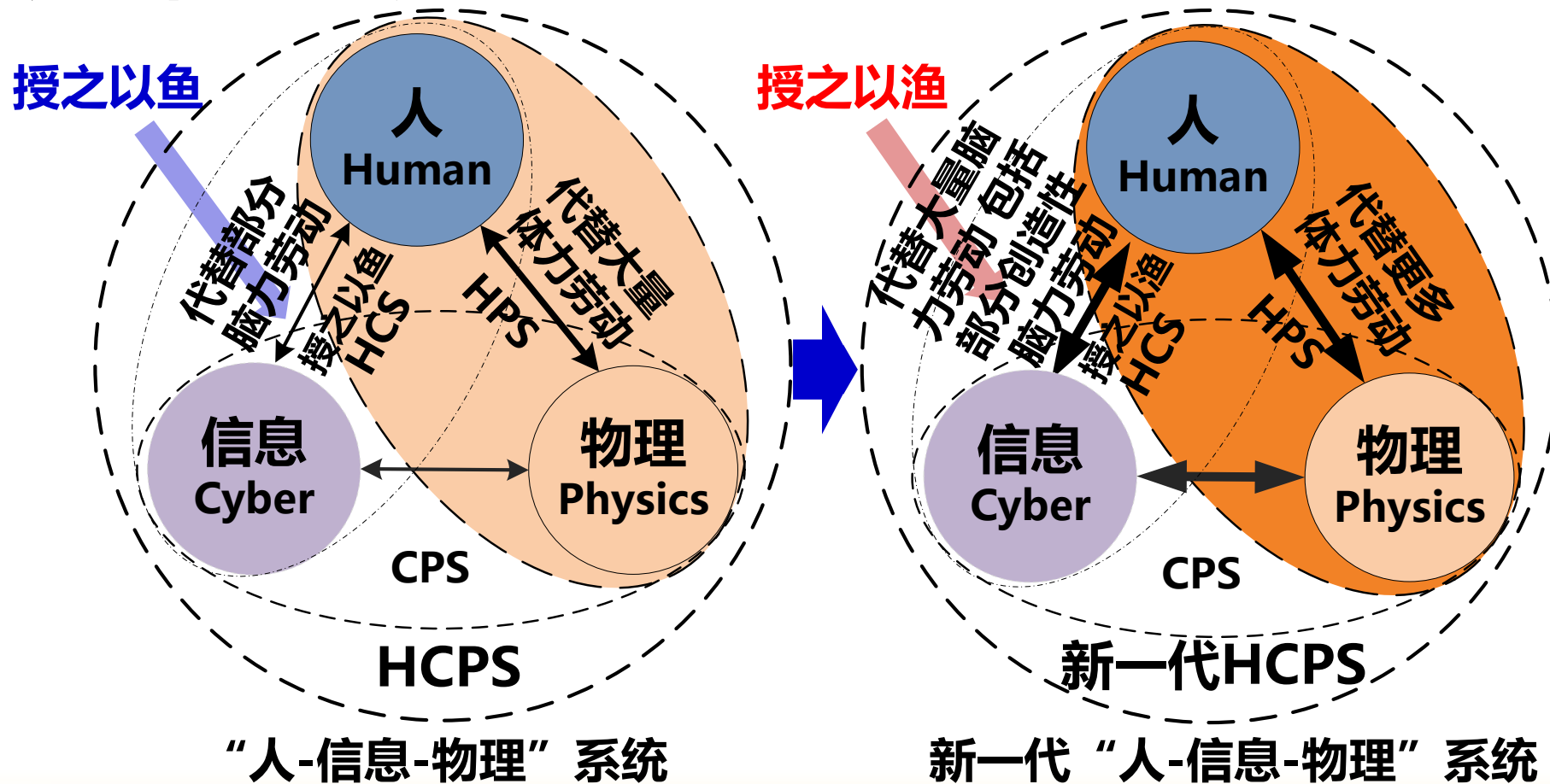
“人-信息-物理” 系统

新一代 “人-信息-物理” 系统

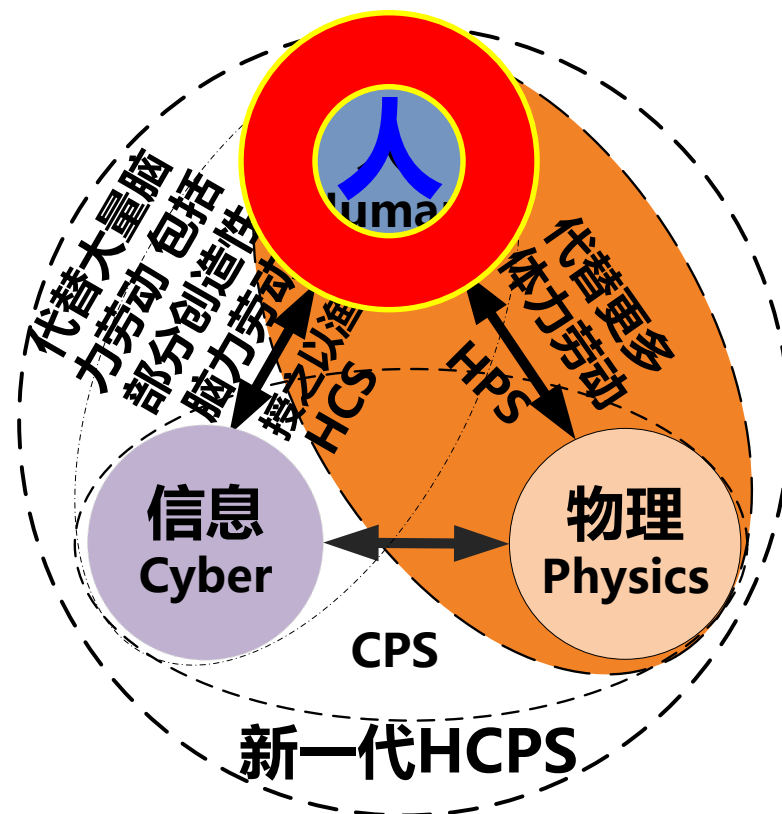
- 第一，人将部分**学习型的脑力劳动转移**给信息系统，因而信息系统具有了“**认知和学习**”的能力，人和信息系统的关系发生了根本性的变化，即从“**授之以鱼**”发展到“**授之以渔**”；



- 第二，通过“人在回路”的混合增强智能，人机深度融合将从本质上提高制造系统处理复杂性、不确定性问题的能力，极大提高制造系统的性能。



- 新一代智能制造，进一步突出了**人的中心地位**，是统筹协调“人”、“信息系统”和“物理系统”的综合集成大系统；

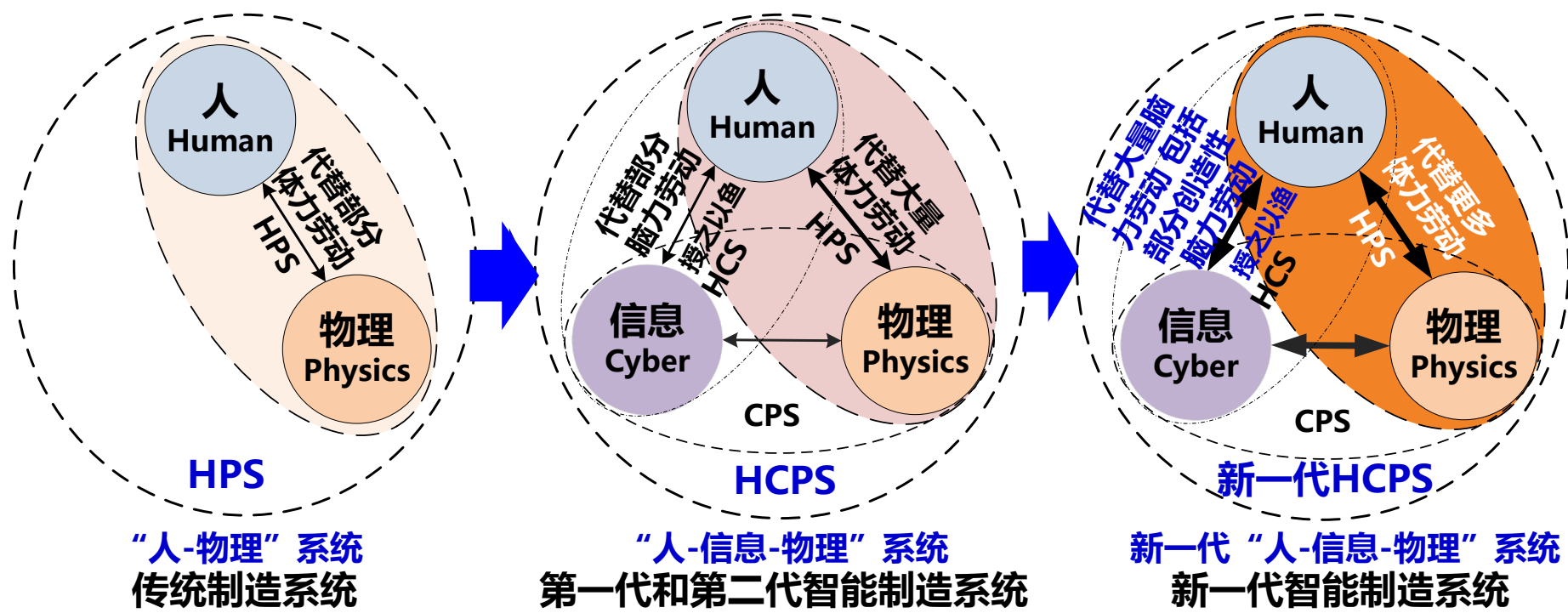


新一代“人-信息-物理”系统

- 一方面，将使制造业的质量和效率跃升到新的水平，为国家强大和人民的美好生活奠定更好的物质基础；
- 另一方面，将使人类从更多体力劳动和大量脑力劳动中解放出来，使得人类可以从事**更有意义的创造性工作**，人类的思维进一步向“互联网思维”、“大数据思维”和“人工智能思维”转变，人类社会开始进入“智能时代”。



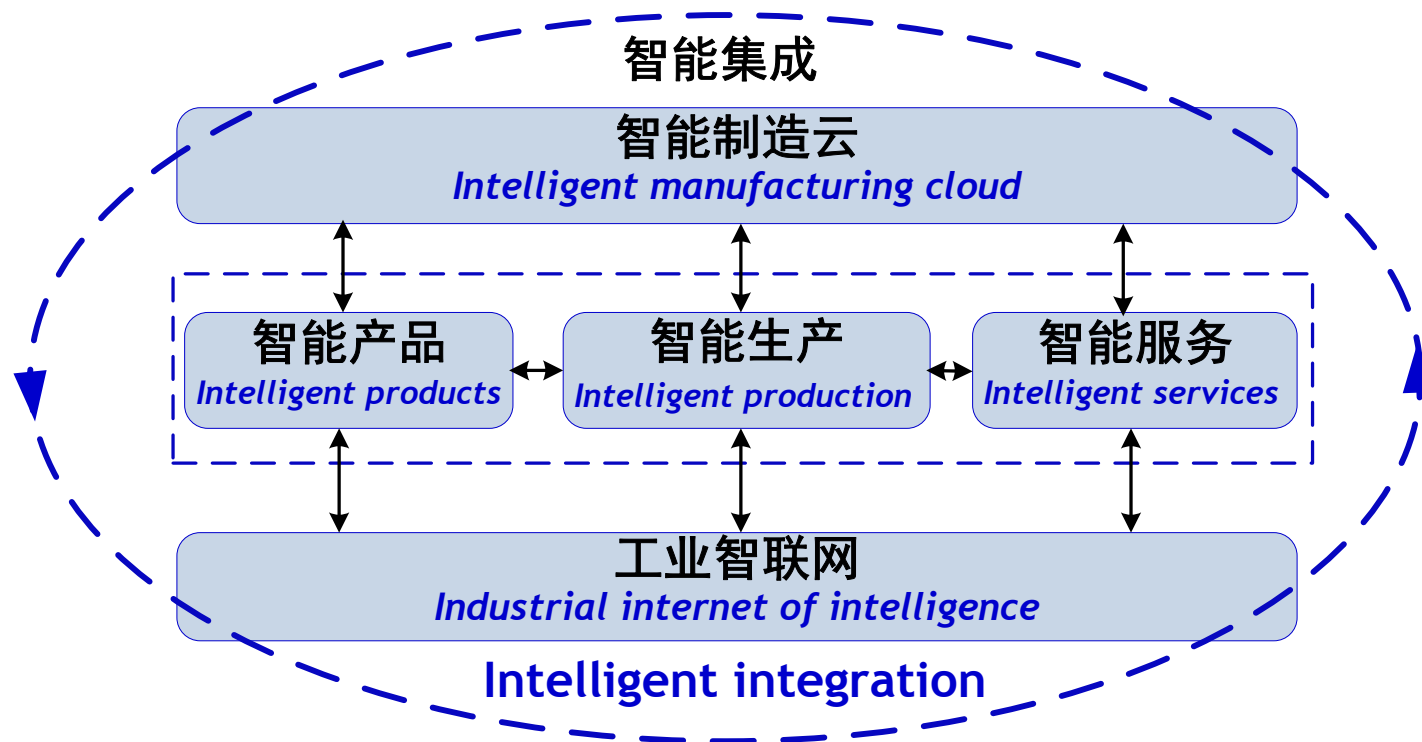
- 总之，制造业从传统制造向新一代智能制造发展的过程是从原来的“人-物理”二元系统向新一代“人-信息-物理”三元系统进化的过程。
- 新一代人-信息-物理系统揭示了智能制造发展的技术机理，能够有效指导新一代智能制造的理论研究和工程实践。



三、新一代智能制造引领和推动新一轮工业革命

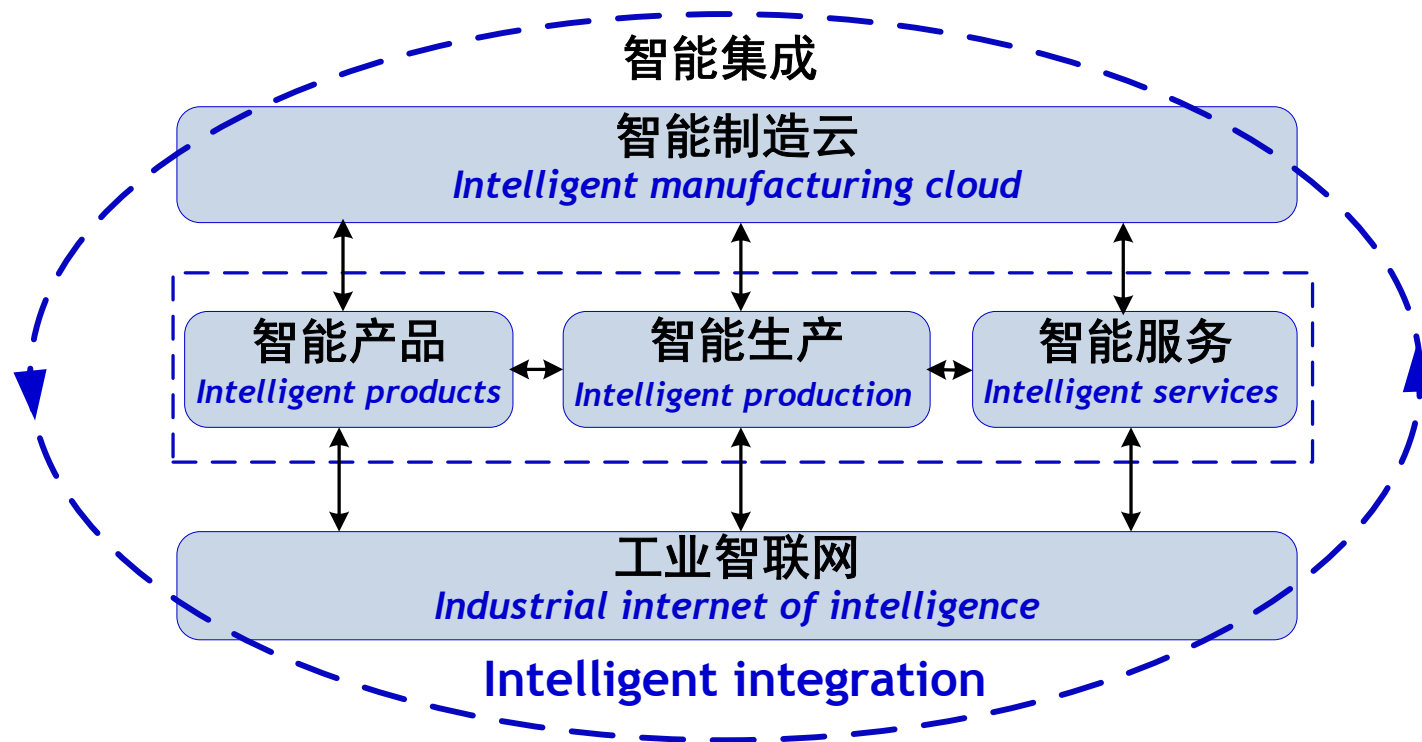
1. 发展背景
2. 新一代智能制造的技术机理——HCPS
3. 新一代智能制造的基本组成与系统集成

3. 新一代智能制造的基本组成与系统集成



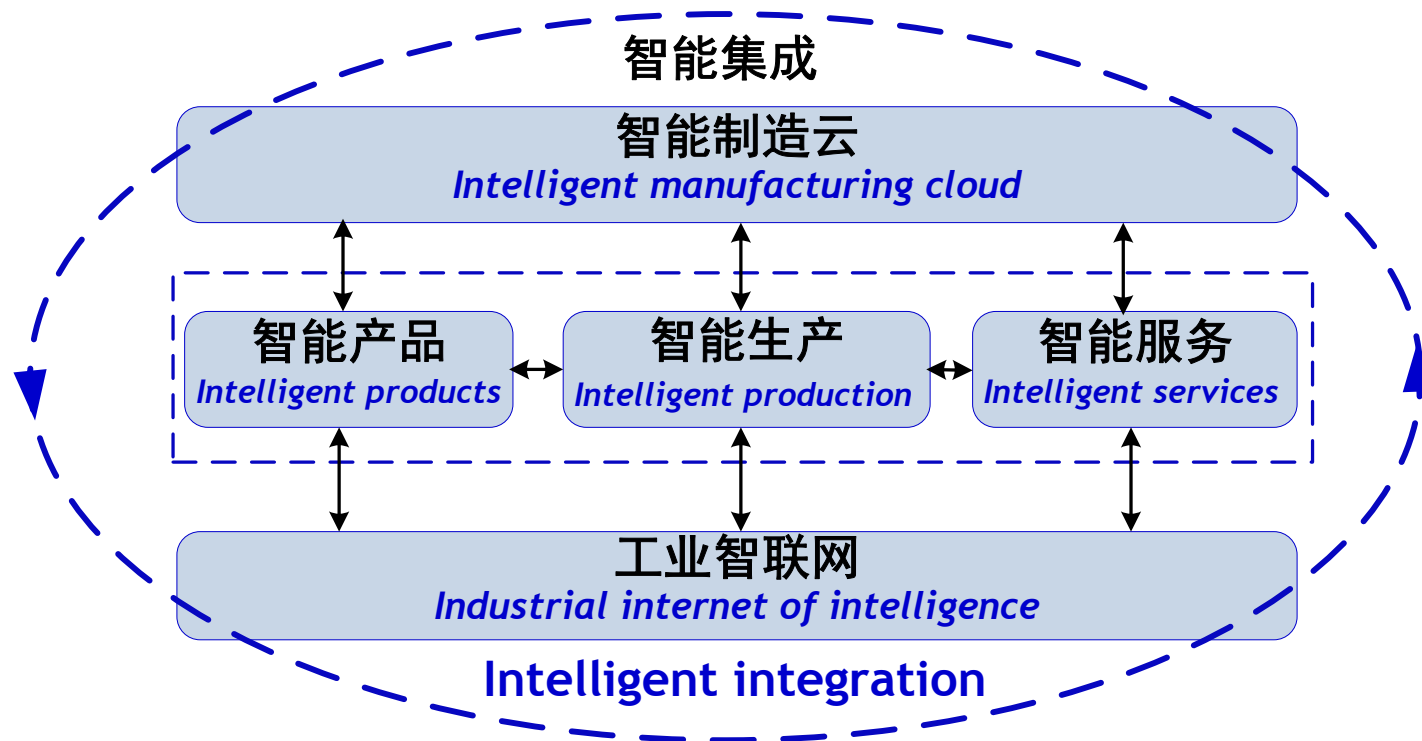
- 新一代智能制造是一个**大系统**，主要由智能产品、智能生产及智能服务三大功能系统以及智能制造云和工业互联网两大支撑系统集成而成。

3. 新一代智能制造的基本组成与系统集成



- 其中，智能产品是**主体**，智能生产是**主线**，以智能服务为中心的产业模式变革是**主题**。智能制造云和工业物联网是支撑智能制造的**基础**。

3. 新一代智能制造的基本组成与系统集成



- 新一代智能制造技术是一种核心使能技术，可广泛应用于**产品创新、生产创新、服务创新**等制造价值链全过程创新与优化。

(1) 智能产品和制造装备

产品和制造装备是智能制造的主体，其中，产品是智能制造的价值载体，制造装备是实施智能制造的前提和基础。

新一代人工智能和新一代智能制造将给产品与制造装备创新带来无限空间，使产品与制造装备产生革命性变化，从“数字一代”整体跃升至“智能一代”。

从技术机理看，“智能一代”产品和制造装备也就是具有新一代HCPS特征的、高度智能化、宜人化、高质量、高性价比的产品与制造装备。



例3：智能手机



iPhone X

我们现在使用的智能手机，
操作系统有**100万行代码**，
复杂程度是当年阿波罗
登月飞行器的几百倍，
计算能力远远超过1985年的
超级计算机Cray-2。



HUAWEI 10



Iphone X

最新上市的iPhone X和华为mate10
展示了新一代智能手机的强大智能。
特别是华为mate10已经搭载了**人工智能芯片**
即**麒麟970芯片**，开始具有了学习功能。



HUAWEI 10

**不久的将来，
新一代人工智能全面应用到手机上，
智能手机将发生什么样的变化呢？**

我们充满了热切的期待。



例4：智能汽车

近期智能汽车的快速发展远远超出了人们的预想。汽车经历了**燃油汽车**→**电动汽车（数字化）**→**网联汽车（网络化）**的发展历程，正在朝着**无人驾驶汽车（智能化）**的方向极速前进。



随着新一代人工智能技术的深入应用，未来汽车将会进入**无人驾驶时代**，将成为一个智能移动终端，成为人们工作和生活的更加美好的移动空间。



特斯拉也加入了无人驾驶竞争



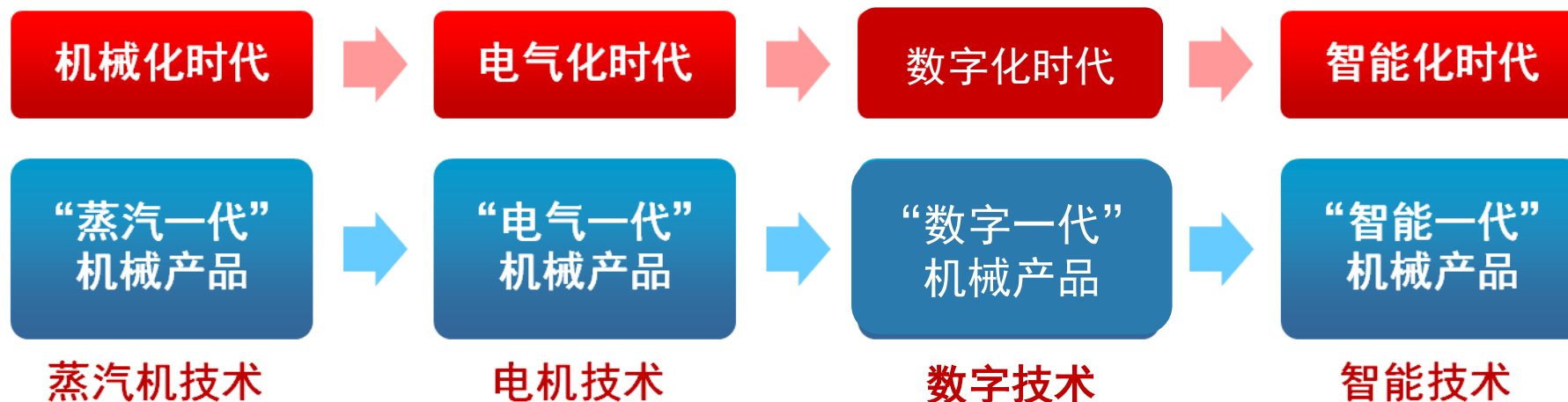
Google 无人驾驶汽车



百度无人驾驶汽车

- 新一代智能制造技术是实现机械产品创新的共性使能技术，使机械产品向“数字一代”乃至“智能一代”发展，从根本上提高产品功能、性能和市场竞争力。

纵观机械产品创新升级的历程，蒸汽机技术这一共性使能技术所带来的动力革命曾催生出了“蒸汽一代”机械产品；电机技术这一共性使能技术所带来的另一场动力革命则曾导致了“电气一代”机械产品的产生；当今，数字化、网络化和智能化这些共性使能技术不仅使机械产品从“电气一代”跃升为“数字一代”，并正在逐步向“智能一代”机械产品进化。



综上所述，作为一种**共性使能技术**，新一代智能制造技术可广泛应用于国民经济各行业和国防军工中各种产品与装备的升级换代。产品的创新与升级换代将极大提升各种产品的性能与市场竞争力，提高整个制造业的生产效率和质量水平。

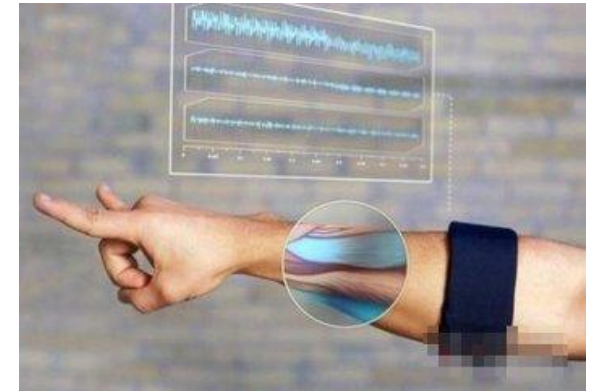
- ◆ 各种金属加工设备特别是金属切削机床；
- ◆ 各种非金属加工专用设备，如塑料加工机械；
- ◆ 食品、饮料、农副产品、日用化工、制药等专用设备；
- ◆ 汽车、火车、飞机、轮船等交通运输设备；
- ◆ 火炮、雷达、坦克等武器装备；
- ◆ 工程、农业、建筑、港口、印刷、医疗机械等。

**新一代智能制造技术
将为产品和装备的创新插上腾飞的翅膀、
开辟更为广阔的天地。**

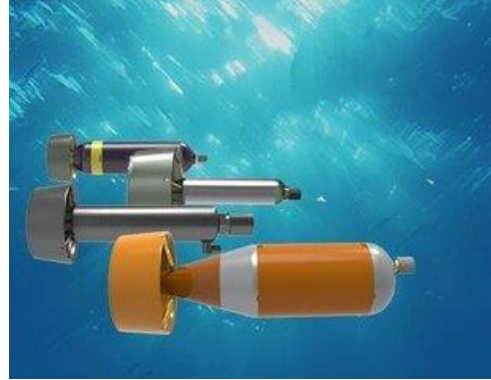
**未来20年，
各种产品和装备都将从“数字一代”
发展成“智能一代”，
升级为智能产品和装备。**



一方面，要涌现出一大批**先进的智能产品**，
如智能终端、智能家电、智能医疗设备、智能玩具等，
为人民更美好的生活服务。

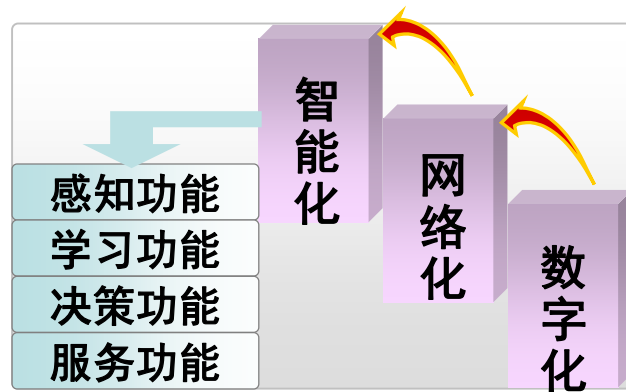


另一方面，着重推进**重点领域重大装备的智能升级**，如信息制造装备、航天航空装备、船舶和海洋装备、汽车、轨道交通装备、农业装备、能源装备等等，特别是要大力发展智能制造装备，如智能机器人、智能机床等，我们的“大国重器”将装备“工业大脑”，更加先进、更加强大。



例5：动力机车的智能化

- 我国已成为世界上高速机车技术最发达的国家之一。
- 轨道交通机车历经蒸汽机车、内燃机车、电力机车到数字化电力机车的进化，目前正向智能化电力机车方向发展。



例6：智能船舶

■我国在智能舰船方面已经进入了世界先进行列。



■未来，新一代人工智能将推动我国船舶工业领先于世界。

设计是产品创新的最重要环节

智能优化设计、智能协同设计、与用户交互的智能定制、基于群体智能的“众创”等都是智能设计的重要内容。研发具有新一代HCPS特征的智能设计系统也是发展新一代智能制造的核心内容之一。



例7：GE发动机零件设计挑战赛

2013年，GE向全球征求3D打印的飞机**发动机支架设计方案**。此次比赛共有700多位参赛者，来自印度尼西亚的一个团队赢得了冠军，GE公司综合了各种设计方案，并加以工程化。这个设计在满足零件的功能同时，将引擎支架的**重量减少了70%**。

这是一次群智众创成功的实践，但还只是智能设计的初级阶段。未来，随着**新一代人工智能**的应用，群智众创将从根本上改变产品设计的面貌。



例8：小米众创

- 小米是全球最快崛起为千亿年产值的高科技公司，其成功的秘诀是打造的**科技产品“生态链”**，旗下200多种产品多由用户参与设计，通过众筹、众包、众创和共享模式纳入小米生态圈。小米近期投入了巨大力量进行人工智能研究。随着新一代人工智能技术的应用，群智众创的模式将激发社会的活力，**群智共享**将会成为未来更为高效的企业设计、生产和运营机制。



(2) 智能生产

制造业数字化网络化智能化也是**生产技术创新的共性使能技术**，使制造业向智能化集成制造系统发展，构建智能企业，全面提升产品生产、制造和管理水平。

智能生产包括设计、加工、销售、服务、管理等全生命周期过程优化。

其中，智能工厂是智能生产的主要载体。



(2) 智能生产

智能工厂根据行业的不同可分为离散型智能工厂和流程型智能工厂，追求的目标都是生产过程的优化，大幅度提升生产系统的性能、功能、质量和效益，重点发展方向都是智能产线、智能车间、智能工厂。



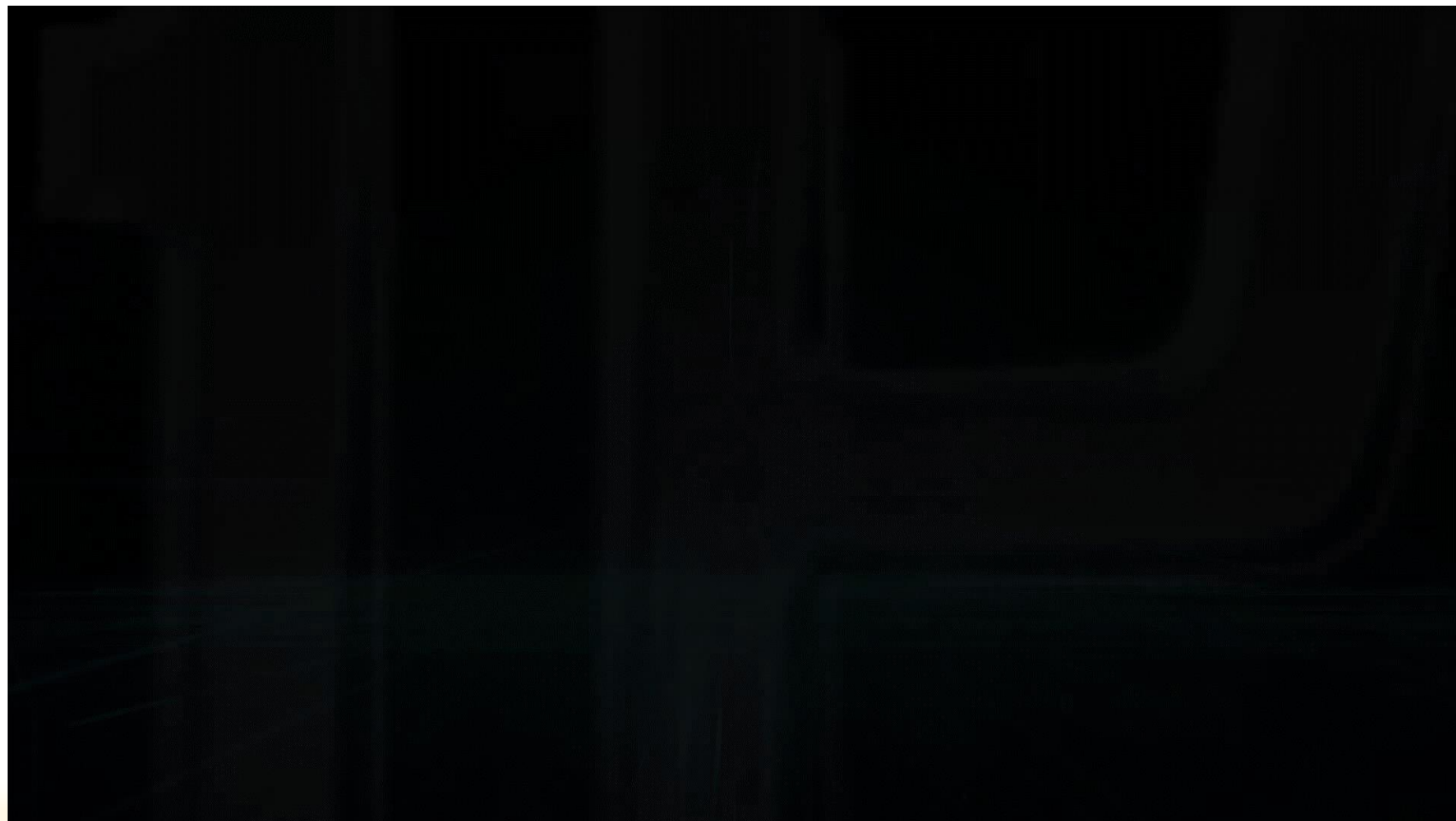
离散型智能工厂



流程型智能工厂

近年来，数字化产线、数字化工厂发展很快。
我们来看一看，今年中国科协智能制造学会联合体评选出的中国
智能制造十大进展中的两个典范。

例9：轿车数字化生产系统



近年来，数字化产线、数字化工厂发展很快。
我们来看一看今年，中国科协智能制造学会联合体评选出的中国
智能制造十大进展中的两个典范。

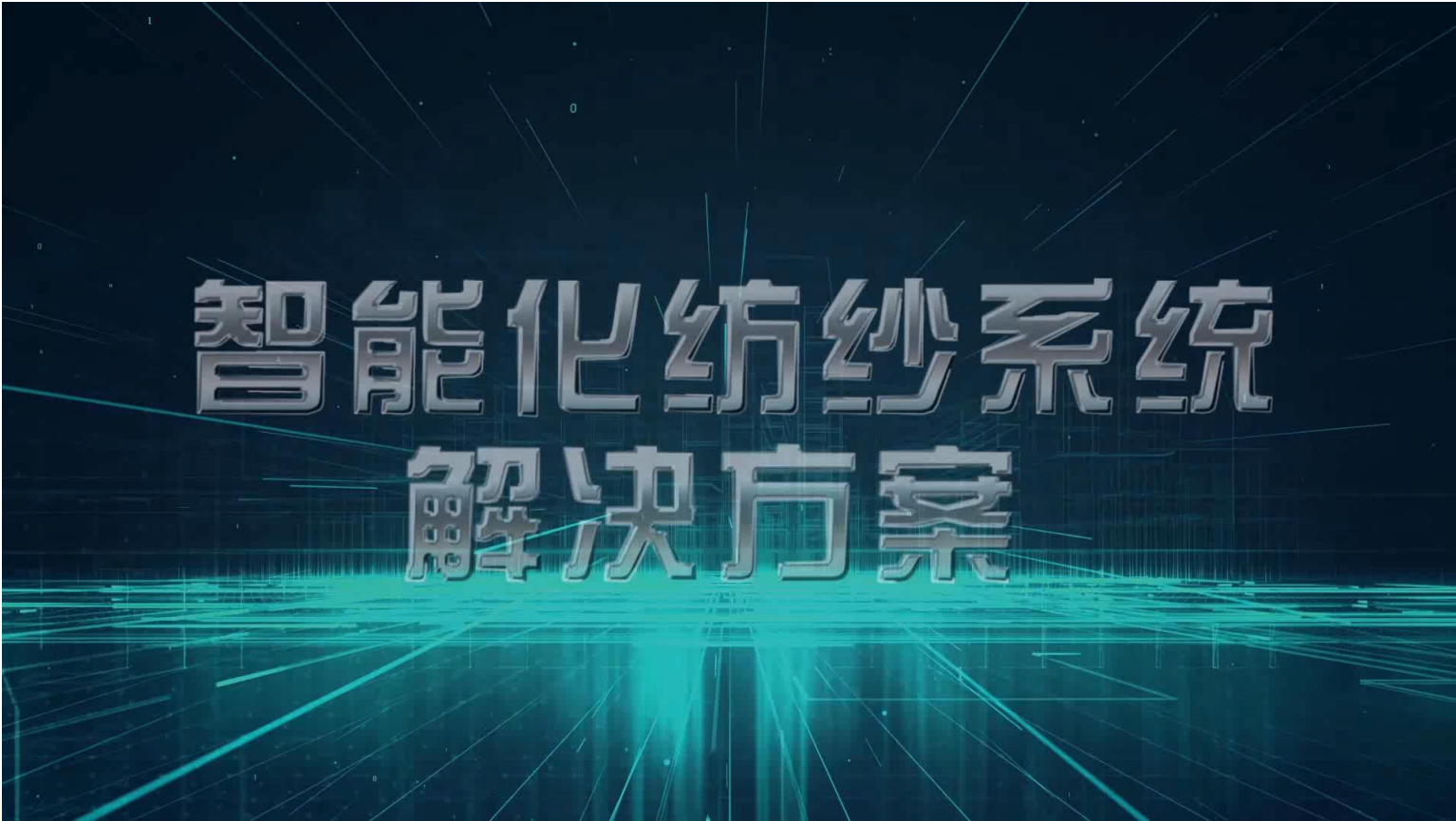
例9：轿车数字化生产系统



同时我们也将邀请更多的人才加入

近年来，数字化产线、数字化工厂发展很快。
我们来看一看今年，中国科协智能制造学会联合体评选出的中国
智能制造十大进展中的两个典范。

例10：纺纱数字化生产系统



智能化纺纱系统
解决方案

**但是，我们必须保持清醒的认识，
以上这些都还是数字化网络化阶段的智能工厂，
也就是第二代智能制造的智能工厂，
更先进的技术升级还在后头。**

**随着新一代人工智能的应用，
今后20年，中国企业将要向自学习、自适应、自控制的
新一代智能工厂进军。**



例11：酿造公司智能制造

比如有的企业正在探索应用新一代人工智能技术的酿酒、酿醋的工艺优化方法，用大数据智能技术和优化酿造流程，酿酒、酿醋的质量效益大幅提高。



酿造生产线

例12：中石化智能制造

中国石化集团公司2017年启动智能工厂升级建设，并与华为公司联合发布了流程**工业智能制造工业云**（ProMACE®）。

通过石化智能工厂建设，企业建立了**数字化、网络化生产运营管理新模式**，生产优化能力由局部优化、月优化提升为一体化优化、在线实时优化，劳动生产率提高10%以上，提质增效作用明显。



下一步的目标是**向智能化发展**：

一是建设基于**大数据样本的分析模型和预测分析模型**，优化工艺参数，实现生产过程的智能控制；

二是建设**故障诊断与自愈控制智能系统**，对设备进行智能监控，实现设备的健康保障，从根本上提高企业安全稳定运行能力。



例13：广东劲胜——3C产品结构件机械加工数字化车间

广东劲胜公司成功的建造了3C产品结构件机械加工数字化车间。

在此基础上，他们计划运用新一代人工智能技术实现：

- 1、加工工艺的优化
- 2、加工质量的升级
- 3、加工装备的健康保障
- 4、车间的智能调度和管理

建成真正意义上的智能车间，极大提高质量、效益和竞争力。



3C工厂自动化加工车间

这三个例子对于整个离散型制造业和流程型制造业有着深刻的启迪意义。

**可以想象，
新一代人工智能技术与先进制造技术的融合
将使生产线、车间、工厂发生革命性的大变革，
提升到历史性的新高度，
将从根本上提高制造业的质量、效率和企业竞争力。**



**在今后相当长一段时间内，
生产线、车间、工厂的智能升级
将成为推进智能制造的一个主要战场。**



(3) 智能服务

- 以智能服务为核心的产业模式变革是新一代智能制造系统的主题。
- 智能制造新模式新业态是在新一代信息技术和人工智能技术的推动下，通过技术、单元、系统、组织和生产方式的等创新，推进产业体系出现重大变化，催生新的模式和新的产业形态。

■ **新一代人工智能技术的应用将催生制造业产业模式的根本性转变，产业模式将实现从以产品为中心向以用户为中心的根本性转变，完成深刻的供给侧结构性改革。主要有两方面：**

第一，从大规模流水线生产转向规模定制化生产

第二，产业形态从生产型制造向服务型制造转变。

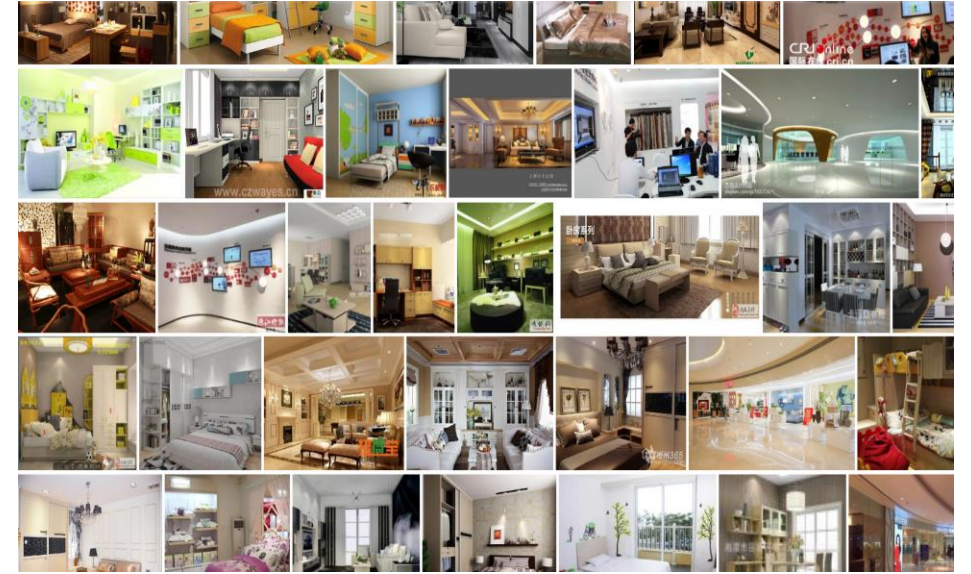
第一，从大规模流水线生产转向规模定制化生产。

例14：维尚家具

维尚家具集团是依托**科技信息创新**迅速发展起来的家居企业，是传统家具行业向家居服务业**转型升级**的**典范企业**。

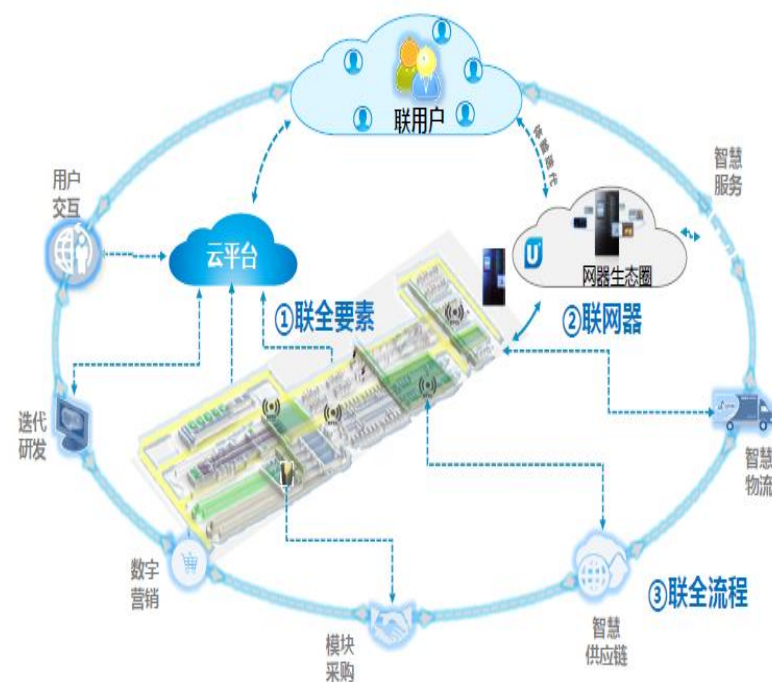


维尚家具通过网络化平台为用户提供了家具定制的解决方案，从传统家具生产厂变成一个规模个性化定制化生产企业，产品质量好，生产效率高，企业效益好的同时，产品价格不高。



例15：海尔COSMO平台

海尔COSMO定制平台实现了家电产品的研发过程、制造流程和营销方式的颠覆式创新。用户可以直接向工厂下单，工厂直接发货给用户；用户可以直接参与产品交互和设计；用户主动成为产品成长的一份子。



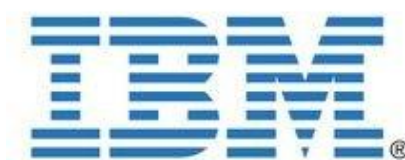
- **今后3-5年，我们将重点在服装、家电、家居等行业推广应用规模定制化制造新模式。形成传统优势产业的竞争新优势。**

- **可以想象，未来大数据智能、群体智能、人机融合智能的深度应用将进一步提高各种产品的个性化、柔性化和定制化，推进中国制造业真正实现以用户为中心的新模式、新业态。**

第二，产业形态从生产型制造向服务型制造转变。

由硬件制造商向服务型制造商转变的最典型的例子莫过于IBM。记得那是在20世纪末的90年中参观IBM公司，时任其CEO的路易斯·郭士纳（Louis V. Gerstner）告诉我IBM正在全面向服务业转型，当时还感觉有些诧异，一直在思考如何实现这一转型。

当我2005年再次参观IBM时，时任CEO萨缪尔·帕米沙诺（Samuel Palmisano）告诉我，IBM公司服务收入所占比例已超过50%，利润连年增长率高达10%以上。



例16：GE公司智能服务

GE公司通过智能服务实现了向服务型制造的转型。GE将大量传感器安装在飞机发动机上，根据发动机大数据，运用最新人工智能技术，实行实时智能分析和智能控制，提供可靠维护服务，



- 进而形成了航空发动机的智能型“优化运行和健康保障系统”。在此基础上，GE开展了按小时支付的租赁服务模式，对发动机提供终身服务，从服务得到的盈利比例大幅提高，成为了服务型制造企业。



通用电气（GE）航空发动机远程运维

例17：金风科技

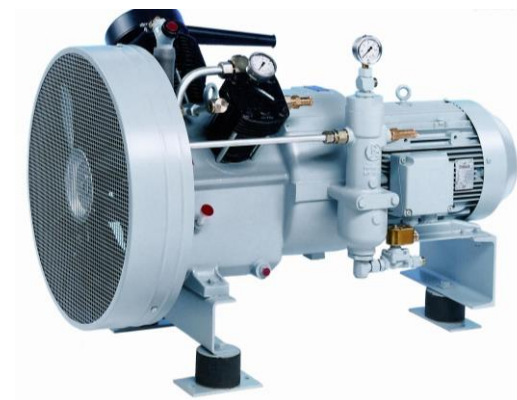
- 金风科技，多次入选“全球最具创新能力企业50强”，成立至今实现全球风电装机容量超过41GW，27,000台风电机组(直驱机组超过23,000台)在全球6大洲、近20个国家稳定运行。已经成为世界领先的风电企业



金风科技智能转型过程中，一是实现了单台风机装备的数字化；二是运用传感、物联网、大数据等技术，建立了全国风能气象地理信息数据中心，根据风场信息优化设计和工程建设；三是基于资源协同、共享理念，利用先进的IT技术和新一代人工智能技术，融入风电专业技术知识和管理知识形成更高效、更经济的运营管理方案，实现由生产型制造向服务型制造的转变。



今后3-5年，我们将重点推进采用**新一代人工智能技术的远程运维服务**，首先在风力发电、直升飞机、工程机械、通用机械、电梯、水表电表监控管理等领域重点推进，然后在整个制造业全面推广，形成在新一代智能服务方面的重点突破。



例18：智能水表——远程运维——智能水务管理

- 上润精密仪器是一家专业从事精密机械制造的仪器仪表企业。2015年，开始了企业智能转型：
- 第一步，研制成功数字化水表；
- 第二步，与窄带物联网(NB-IoT)技术相融合，研制出网络化水表；
- 第三步，将区域内水表联网管理，实现远程运维，使区域水务管理向数字化网络化升级；
- 下一步，应用大数据智能实现水务管理智能化，大大提升水务管理的效益、质量，造福于老百姓。



- 在此基础上，我们将在整个制造业全面推进以智能服务为中心的产业模式变革，智能技术引领，产融深度融合，使更多的企业从生产型制造向服务型制造转变，实现更深层次的供给侧结构性改革。

(4) 智能制造云和工业物联网

- 近年来，新一代通讯技术、网络技术、云技术飞速发展，特别是**时间敏感网络（TSN）、软件定义网络（SDN）、基于蜂窝的窄带物联网（NB-IoT）、第五代移动通信网络（5G）**已经或者即将实现重大突破，进而与人工智能技术相融合，为构建智能制造云和工业物联网奠定了坚实的基础。



工业物联网

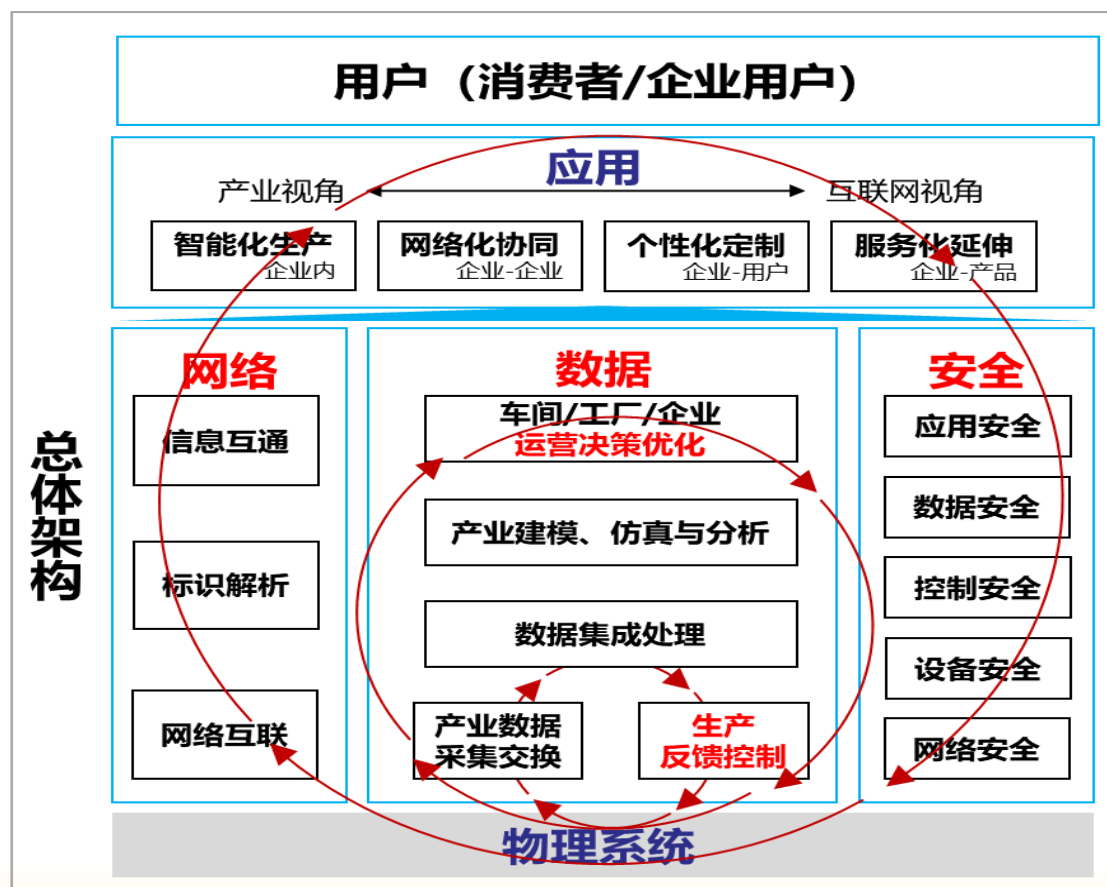


智能制造云

(4) 智能制造云和工业智联网

**新一代人工智能技术的发展和应用，
将使智能制造云和工业智联网实现质的飞跃，
为新一代智能制造生产力和生产方式变革
提供发展的空间和可靠的保障。**

- 基于网络、数据与安全三大要素，工业物联网将构建面向工业智能化发展的网络、平台、安全三大体系。
- 其中，网络是基础、数据是核心、安全是保障。



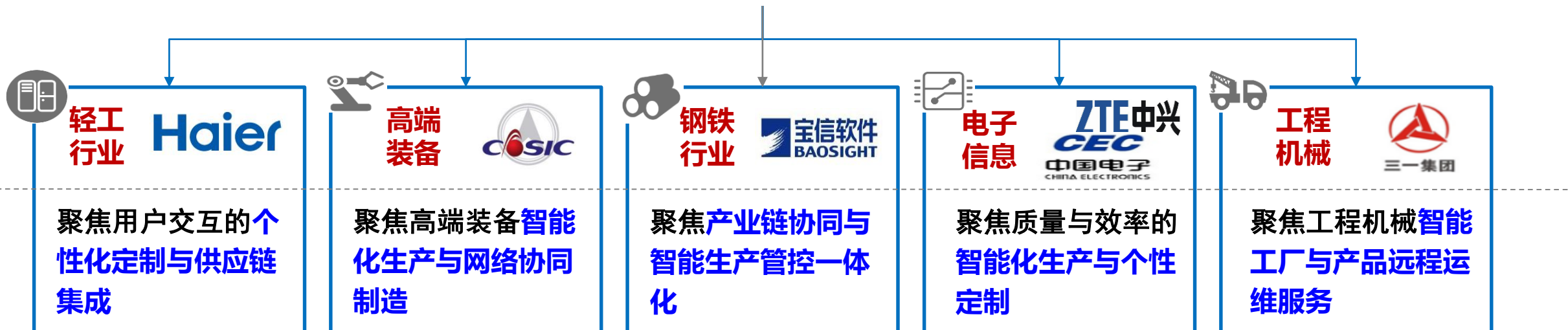
体系架构

平台体系是工业智能化发展的核心载体，工业智能化的“神经中枢系统”。

在这一领域，全球都在探索当中，其中国际上GE的Predix，西门子MindSphere，微软的Azure，SAP的HANA发展势头迅猛。

我国的航天云网、海尔CosmoPlat、树根互联、阿里云和华为云崛起很快，在用户量上已经超过了国外知名平台，具有自己的特色，为我国下一步发展新一代智能制造赢得了优势。

国内工业互联网平台的实践



Schneider Electric

中国电信
CHINA TELECOM
世界触手可及
SYSWARE
索为系统

China
unicom中国联通

NeuCloud
多云科技

清华同方
TSINGHUA TONGFANG

阿里巴巴
Alibaba.com

HUAWEI

中国移动
China Mobile

...
近30家企业

(5) 系统集成

- 新一代智能制造内部和外部均呈现出前所未有的系统“大集成”特征。
- 一方面是制造系统内部的“大集成”。企业内部设计、生产、销售、服务、管理过程等实现动态智能集成，即纵向集成；企业与企业之间基于工业物联网与智能云平台，实现集成、共享、协作和优化，即横向集成。

(5) 系统集成

■ 另一方面是制造系统外部的“大集成”。

制造业与金融业、上下游产业的深度融合形成服务型制造业和生产性服务业共同发展的新业态。

智能制造与智能城市、智能农业、智能医疗等交融集成，共同形成智能生态大系统——智能社会。

例19：工程机械智能集成与协作

智能制造



智能建工



智能城市

远程操控端

人机交互装置
远程遥控
任务指派/监控

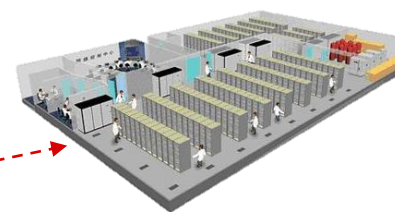


移动用户端

网页、APP
任务指派/监控



移动互联网
无线数据通讯承载



云端数据中心

单机智能控制：
环境建模分析
任务/轨迹规划
集群智能化：
多机编队作业
任务调度/监控/统计
大数据服务：
系统通讯
健康管理及诊断

卫星定位
导航与测量
辅助



智能工程机械端

环境感知
自身工况传感
自主作业控制



(5) 系统集成

新一代智能制造系统大集成具有大开放的显著特征，
具有集中与分布、统筹与精准、包容与共享的特性，
未来的制造，
将成为“大众创业、万众创新”的开放型大制造，
具有广阔的发展前景。

- 一、智能制造是《中国制造2025》的主攻方向
- 二、智能制造的基本范式与“并行推进、融合发展”的技术路线
- 三、新一代智能制造引领和推动新一轮工业革命
- 四、中国智能制造发展的战略建议和优先行动**

四、中国智能制造发展的战略建议和优先行动

1. 战略目标

2. 战略方针

3. 发展路径

4. 优先行动

**未来20年，
我国的智能制造发展总体
将分成两个阶段，三步来实现。**

(1) 2025年目标

- 到2020年，数字化网络化制造在全国得到大规模推广应用，在发达地区和重点领域实现全面应用；同时，新一代智能制造在部分领域获得探索性的成功。
- 到2025年，数字化网络化制造在全国普及并得到深度应用；同时，新一代智能制造在重点领域试点示范取得显著成果，并开始在企业推广应用。

(2) 2035年目标

- 到2035年，新一代智能制造在制造业实现大规模推广、应用，实现中国制造业的转型升级；制造业总体水平达到世界先进水平，部分领域处于世界领先水平，并为2050年我国建成世界一流的制造强国打下坚实基础。

四、中国智能制造发展的战略建议和优先行动

1. 战略目标
- 2. 战略方针**
3. 发展路径
4. 优先行动

- **未来20年，我国智能制造发展必须要坚持“创新引领、融合发展、因企制宜、产业升级”，持续有力地推动我国制造业实现智能转型，并为我国跨入世界制造强国奠定更加有力的基础支撑。**

(1)创新引领

- **创新是制造业发展的不竭动力。中国制造业实现转型升级，归根到底必须要依靠技术进步与创新。**
- **中国制造要实现智能转型，必须抓住新一代人工智能技术与制造业融合发展带来的新机遇，把发展智能制造作为中国制造业转型升级的主要路径，在制造业发展的新赛道上，用创新不断实现新的超越，推动我国制造业从跟随、并行向引领迈进，实现换道超车、跨越发展，持续推动我国制造业保持中高速增长、迈向全球价值链中高端水平。**

(2)融合发展

- **中国各地各行业制造业发展水平千差万别，制造业发展不平衡的问题尚未解决。中国制造业要实现智能转型，必须充分发挥后发优势，同步推进数字化制造、数字化网络化制造、新一代智能制造，积极采用“以高打低、融合发展”的技术战略，持续推进工业化与信息化的深度融合发展，持续推进制造技术创新与服务模式创新的深度融合发展。**

(3)因企制宜

- **企业是经济活动的主体，智能制造的落地实施归根到底要体现在企业的智能转型中。推动智能制造，要充分激发企业的内生动力。**
- **中国的企业参差不齐，实现智能转型不能搞“一刀切”，不能“贪大求洋”，各个企业特别是广大中小微企业，要结合企业发展实情，实事求是地探索适合自己转型升级的技术路径。**

(4) 产业升级

- **推动智能制造的目的在于产业升级，推动智能制造不能仅仅停留在在典型、示范、部分制造环节或者部分制造领域，而是要着眼于广大企业、各个行业和整个制造产业，推动中国制造业整体发展质量变革、效率变革、动力变革，实现中国制造业全方位的现代化转型升级。**

四、中国智能制造发展的战略建议和优先行动

1. 战略目标
2. 战略方针
- 3. 发展路径**
4. 优先行动

(1)战略层面：总体规划-重点突破-分步实施-全面推进

- **国家层面要抓好智能制造发展的顶层设计、总体规划，明确各阶段的战略目标和重点任务。**
- **有条件的经济发达地区、重点产业、重点企业，要加快重点突破，先行先试，发挥好引领、表率作用。**
- **分步实施，重点突破的范围逐步扩大，从企业（点），到城市（线），再到区域（面）梯次展开。**
- **在此基础上，在全国范围内根据不同情况，全面推进，达到普及。**

(2)战术层面：探索-试点-推广-普及

- 总结近几年推行数字化制造的经验，采用“探索-试点-推广-普及”的有序推进模式是合理和有效的选择。
- 探索是为了验证技术的可行性，通过探索，可以确认技术在企业是可实施的。
- 在此基础上，可以在少数企业进行试点。

(2)战术层面：探索-试点-推广-普及

- 通过试点，一方面摸索出应用中出现的问题，进一步改善；另一方面让其他企业实实在在地看到智能转型的好处，诱发转型升级的内生动力。
- 通过推广，扩大应用范围，并进一步发现问题，予以改进，使技术、装备、系统解决方案越来越成熟。通过普及，在地区、在行业、在全国全面推广应用。
- 这样分步、循序渐进的推进模式，可操作性强，风险小，成功率高，是一条可持续的、有效的实施路径。

(3)组织层面：营造“用产学研金政一体化”协同创新的生态系统

- **智能制造的发展一定是起源于企业的需求。因此制造企业在发展中起着主体的地位。他们的愿望，必须有一批系统集成商、设备和软件供应商以及开发技术和产品的研究机构，形成产业群体，加以实现，从技术上保证成功。**
- **金融机构将在发展过程中创新商业模式，通过融资租赁、融资担保等方式，为企业在资金上保驾护航。**

(3)组织层面：营造“用产学研金政一体化”协同创新的生态系统

- **政府将提出相应的政策，为企业营造有利的发展环境，包括为产业集群的形成招商引资，减小金融机构的投资风险，为人才引进创造优惠的条件。**
- **这样，汇集各方力量，实施有组织的创新，逐步形成有利于智能制造发展的生态环境。**

四、中国智能制造发展的战略建议和优先行动

1. 战略目标
2. 战略方针
3. 发展路径
- 4. 优先行动**

- **推进智能制造是一项长期、复杂的系统工程。根据我国发展智能制造的战略目标、方针和路径，建议在今后一段时期，从国家“科技创新2030”重大项目、《中国制造2025》重大工程、广大企业转型升级三个层面，统筹全国各方面的资源，发挥我国集中力量办大事的制度优势，实施十大优先行动。重点是在制造业各领域全面推广应用、普及数字化网络化制造，同时，加大力度推进新一代智能制造的研究、技术攻关、试点示范并在部分领域的探索推广应用。**

第一层面：推进国家“科技创新2030”重大项目

- 围绕制造业智能升级的发展需求，加快推动“创新2030”重大专项、国家科技创新工程、国家自然科学基金等科技创新项目的统筹实施，加强科技创新攻关，推进新一代智能制造的理论研究、技术突破与产品研发。

■ 优先行动一：抓紧实施“智能制造和机器人”重大专项

- “智能制造和机器人”是科技创新2030的重大项目，体现了国家战略意图。要抓紧实施，协同推进理论研究突破，重点解决影响智能制造发展的关键共性技术、关键零部件/元器件、工业软件及智能制造装备等问题。发挥重大工程的引领作用，确保取得一批重大标志性成果，力争走在世界前列，为智能制造发展提供重要的科学技术支撑。

第二层面：推进《中国制造2025》重大工程

- 依托国家制造业创新中心建设、工业强基、智能制造、绿色制造、高端装备创新等五大工程，以及优质制造、工业互联网发展、人才培养等战略规划，突出智能制造主攻方向，推动《中国制造2025》“1+X”规划体系全面实施，持续推进我国制造业的智能转型、优化升级。

■ 优先行动二：推进智能制造试点示范

- 依托“智能制造工程”继续组织实施智能制造试点示范，鼓励企业与装备制造商、软件供应商、智能制造系统解决方案供应商联合实施，形成可复制、可推广的经验与模式，带动核心装备、软件、系统集成服务等智能制造供给能力持续提升，力争每年形成100个技术路线行业示范点；
- 同时，“中国制造2025”国家级示范区建设要突出智能制造主攻方向，充分发挥产业集聚效应，加快发展智能制造系统集成产业，形成行业示范和地区示范，在金融、土地、人才以及改革创新等方面予以支持。

■ 优先行动三：推进高端装备制造的智能升级

■ 依托“高端装备创新工程”，推进重点领域装备与新一代人工智能技术的融合，推动十大重点领域智能装备制造快速发展，主要包括：新一代信息技术、高档数控机床和机器人、航空航天装备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、电力装备、农机装备、新材料、生物医药及高性能医疗器械等，同时，还要进一步推进石化、冶金等流程工业装备的智能化升级。

■ 优先行动四：推进绿色制造的智能升级

■ 依托“绿色制造工程”，通过智能升级解决重点区域、重点行业和重点企业发展中的资源环境问题。以绿色产品、绿色工厂、绿色工业园区、绿色供应链为重点，以绿色制造服务平台为支撑，鼓励企业采用智能工艺技术，实施生产过程清洁化升级改造，实施能源利用高效低碳化智能改造、水资源利用高效化智能改造、基础制造工艺绿色化智能改造，实现资源循环利用，提高能源综合管控、污染物监测和安全管理水平。

- **优先行动五：推进优质制造的智能升级**
- **落实促进装备制造业质量品牌提升专项行动，坚持质量第一、效益优先，深入应用智能制造技术，实施工艺优化和关键共性质量技术攻关，推动质量技术智能化升级。建立全产业链质量的智能保障系统，从根本上提高产品质量水平。**

■ 优先行动六：推进智能制造强基及产业化

- 依托“工业强基工程”，突破智能制造所需的核心基础零部件/元器件、工业软件、系统集成技术并实现产业化，大力推进智能制造标准化建设。
- 一是推进智能关键零部件的研发与产业化。重点突破传感器、控制系统和伺服电机等核心关键部件，掌握核心关键技术，形成持续创新能力。支持关键零部件的广泛应用，形成一大批抢占国内市场、具有国际竞争力的智能关键零部件生产企业。

- **二是推进国产工业软件的研发与产业化。夯实制造执行系统（MES）、产品全生命周期管理软件(PLM)等管理类软件技术，突破三维建模、虚拟仿真、数据分析与可视化等工具类软件研发，开展嵌入式实时工业操作系统、数据库系统与实时数据智能处理系统等基础共性关键技术攻关，形成一大批自主研发实力强，市场占有率高的工业软件企业。**

- **三是大力发展智能制造系统集成技术并培育系统集成产业。推进基于智能制造标准、核心支撑软件、工业互联网与信息安全系统的关键技术装备与先进制造工艺的集成应用，形成智能制造系统集成解决方案，通过协同创新，专项项目实施，培育一大批国际知名的系统集成企业，培育壮大智能制造系统集成产业。**

- **四是加强智能制造的标准研究和制定工作。研究制定智能制造基础共性标准、关键技术标准与重点行业智能制造应用标准，加大标准的宣贯力度，通过标准化活动，使智能制造的技术成果得到有效的推广和普及。积极开展与国际标准化组织的交流合作，提高国际标准转化率，推动智能制造国家标准上升成为国际标准，提高我国在国际标准中的话语权，在新一代智能制造标准的制订方面走在世界前列。**

■ 优先行动七：推进工业互联网与智能云平台建设

■ 依托“国家工业互联网专项（一期）”，着力构建网络、平台和安全三大功能体系，增强支撑智能制造发展能力。

■ 一是构建工业互联网先进基础设施。打造可有效支撑新一代智能制造发展的低时延、高可靠、广覆盖、可定制的网络，推进时间敏感网络、软件定义网络、5G、窄带物联网等新兴网络技术攻关和应用推广，并结合IPv6、OPC-UA等技术，推进工厂企业内网络的IP化、无线化、扁平化、柔性化技术改造，加快工业企业外网络智能化升级，扩大网络覆盖范围，提升业务承载能力和资源智能配置能力，全面推广部署IPv6。

■ **构建工业互联网标识解析体系，支持国家标识解析体系节点建设，完善标识注册服务和标识数据应用。推进边缘计算的体系架构和关键技术研究，建立融合网络、计算、存储、人工智能等多领域的技术体系，探索边缘计算的多样化节点部署、网络架构体系、工业智能方法和工业应用模式，打造产业生态体系**

- **二是推进工业智能云平台建设和应用。围绕数据采集、平台管理、建模分析以及平台间互联互通等关键技术和能力建设，重点推动建设若干面向多行业、多领域应用的国家级平台，建设一批能够支撑企业数字化、网络化、智能化转型的企业级平台，促进工业全要素连接和资源优化配置。推动千万企业上云，以应用促发展、以发展促应用。**

- **三是加强智能安全保障能力建设。提升覆盖设备、控制、网络、平台和数据安全的多层次安全防护能力，建设安全试验验证、测试评估、安全监测等国家级技术平台，建立健全工业互联网安全标准体系和评估认证体系，开展试点示范，形成国家、行业、企业协调联动的安全工作格局，构建覆盖智能制造全产业、全价值链安全保障体系。**

■ 优先行动八：推进形成智能制造创新体系

- 依托“制造业创新中心建设工程”，以企业为主体、以市场为导向，加快建设产学研结合的技术创新体系。建立若干智能制造国家创新中心和一批智能制造国家重点实验室及工程技术中心，培育发展一批产业共性关键技术的研发应用基地，突破智能制造关键技术与装备，加强技术转化、推广与应用。加强对中小企业的技术支持和服务，重点帮助中小企业转型升级，带动中国制造业逐步进入智能化阶段。

■ 优先行动九：推进智能制造人才队伍建设

■ 依托“制造业人才发展规划指南”，建设一支规模宏大、结构合理、支撑有力的智能制造人才队伍。

■ 一是重点培养智能制造管理人才，尤其是企业家。围绕智能制造开展企业家及经营管理层培训，提高对智能制造认识，加深理解，从而更有效的指导企业开展智能制造工作。

第三层面：推进面向广大企业转型升级的优先行动

- 智能制造发展的目标是实现整个制造业的优化升级，需要做好企业的推广普及工作。实施技术改造智能升级工程 and 智能一代产品创新工程，同时高度重视金融与服务的结合，实施服务型制造推进工程。

■ 优先行动十：实施技术改造智能升级工程

- 技术改造是推动实体经济发展的**重要抓手**，也是企业实施**技术进步**和**产品升级**的主要途径。要**抓住技术改造这个抓手**推动**制造业产业链**从**材料、零部件、整机、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**。

- **优先行动十：实施技术改造智能升级工程**
- **发挥好大中型企业智能化改造示范作用，支持中小企业聚焦关键环节，抓住见效快的项目先行示范和突破，及时总结经验，做好推广应用，促进大批企业智能化转型升级。**

- **优先行动十一：实施智能一代产品创新工程**
- **建立“技术改造智能升级产业基金”，支撑大中小型企业改造升级。**
- **基于推广“数控一代产品创新工程”的实施经验，以市场为导向、企业为核心，“产学研用金政”紧密结合、协同创新，推动机械产品向“智能一代”升级换代，提升制造业整体竞争力。**

- **重点开展智能化机械产品关键技术研究和产品开发，提高我国机械产品自主创新能力，形成一大批智能化装备和产品。着力完善应用服务体系 and 人才培养体系，建立智能化机械产品应用服务平台，积极推进智能化机械产品在重点行业、重点区域的推广和应用。**

■ 优先行动十二：实施服务型制造推进工程

- 一是大力发展远程运维、设备健康管理服务的智能化升级。鼓励探索设备远程运维服务融入人工智能技术，推动从主要依靠人的经验进行诊断向人和机器协同诊断转变。

■ 优先行动十二：实施服务型制造推进工程

- 二是支持面向重点行业的电子商务服务创新及个性化定制模式。探索建立集网上交易、制造资源共享、物流配送、大数据分析等于一体的精细化、专业化的电子商务服务平台；鼓励制造企业在提供产品使用价值的同时，创新满足用户个性化需求为引领的大规模个性化定制模式，满足客户个性化的需求成为制造企业提升市场占有率、增加收益的重要途径。

■ 优先行动十二：实施服务型制造推进工程

- 三是积极推进产融结合,培育和发展服务型制造业。鼓励金融机构积极开展融资租赁等供应链金融业务创新,结合智能制造系统集成度高等特点,使企业经营与金融服务紧密融合,实现资金融通和风险管理的协同效应。

中国制造业的同志们有一个共同的奋斗目标：
实施《中国制造2025》，
到2025年，我们国家进入制造强国行列；
再经过20年的努力，
到2045年，中国成为全球领先的制造强国，
以制造业的繁荣和强大，支撑国家的繁荣和强大，
把我们伟大的祖国建设成为社会主义现代化强国，
实现中华民族伟大复兴的中国梦。

