



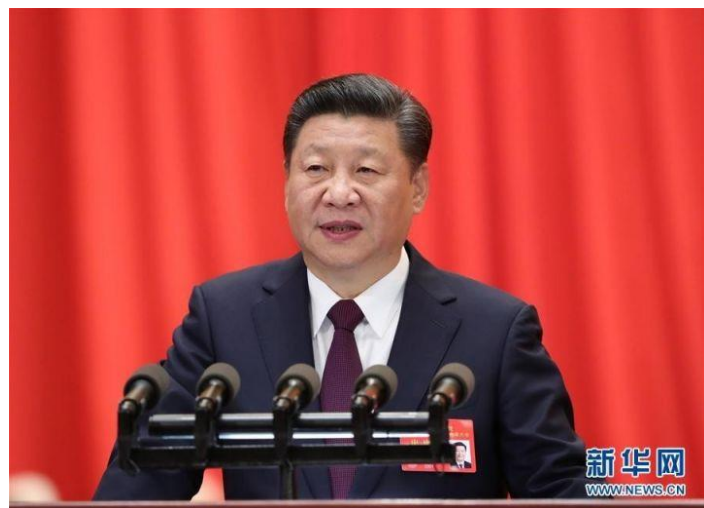
中國工程院
Chinese Academy of Engineering



走向新一代智能制造

中国工程院 周济

2018年5月



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。

习近平总书记指示，
要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。

**2016年7月以来，
会同工业和信息化部，
中国工程院、
中国科学技术协会、
国家制造强国建设战略咨询委员会
组织数百位院士和专家开展研究，
形成了《中国智能制造发展战略研究报告》。**

**大家一致认为，
智能制造
是我国制造业创新发展的主要抓手，
是我国制造业转型升级的主要路径，
是《中国制造2025》
——加快建设制造强国的主攻方向。**

一、智能制造的基本范式与“并行推进、融合发展” 的技术路线

二、新一代智能制造引领和推动新一轮工业革命

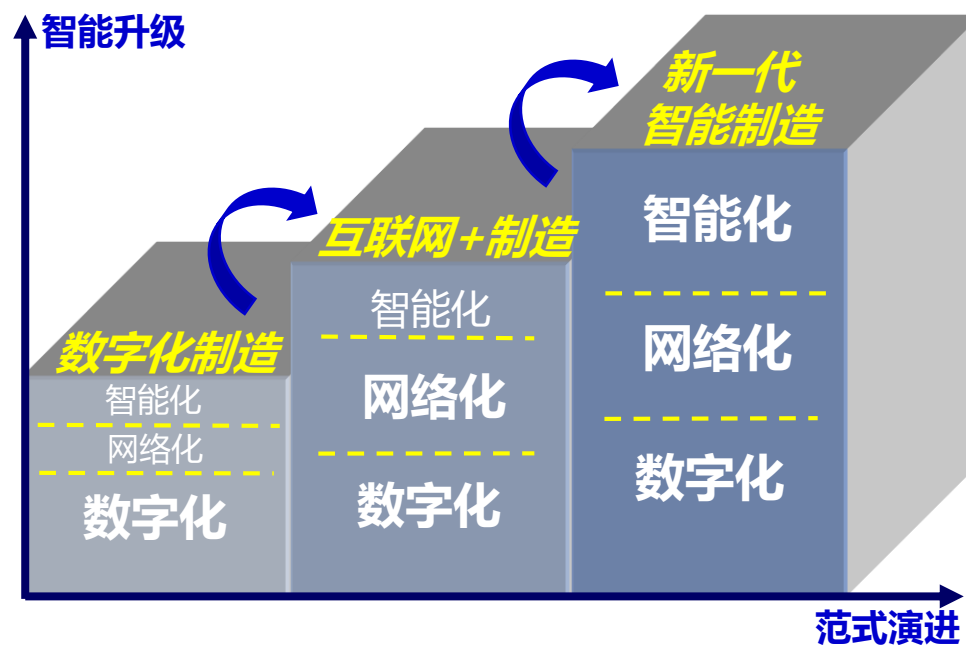
三、中国智能制造发展的战略建议

**广义而论，
智能制造是一个大概念，
一个不断演进的大系统，
是新一代信息技术与先进制造技术的深度融合，
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。**

智能制造作为制造业和信息技术深度融合的产物，
其诞生和演变是和信息化发展相伴而生的。

智能制造在演进发展中，
可总结、归纳和提升出
三种智能制造的基本范式，即：

- 数字化制造、
- 数字化网络化制造
——“互联网+制造”、
- 数字化网络化智能化制造
——新一代智能制造



一、智能制造的基本范式与“并行推进、融合发展”的技术路线

1. 数字化制造(Digital Manufacturing)
2. “互联网+制造”——数字化网络化制造
(Smart Manufacturing)
3. 新一代智能制造——数字化网络化智能化制造
(Intelligent Manufacturing)
4. “并行推进、融合发展”的技术路线

1. 数字化制造(Digital Manufacturing)

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**。

上世纪下半叶以来，
以数字化为主要内容的信息技术
广泛应用于制造业，
形成了“**数字一代**”创新产品、
数字化制造系统和数字化企业。

**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。
同时，必须清醒地认识到，我国大多数企业
还没有完成数字化制造转型。
我国在推进智能制造过程中
必须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。**

一、智能制造的基本范式与“并行推进、融合发展”的技术路线

1. 数字化制造(Digital Manufacturing)
2. “互联网+制造”——数字化网络化制造
(Smart Manufacturing)
3. 新一代智能制造——数字化网络化智能化制造
(Intelligent Manufacturing)
4. “并行推进、融合发展”的技术路线

2. “互联网+制造”——数字化网络化制造 (Smart Manufacturing)

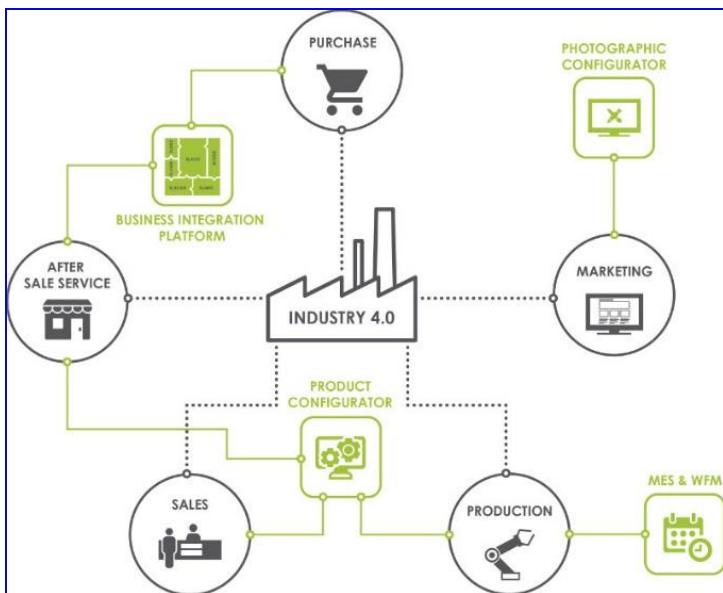
**数字化网络化制造
是智能制造的第二种基本范式，
也可称为“互联网+制造”，
或第二代智能制造。**

**上世纪末，
互联网技术开始广泛应用，
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。**

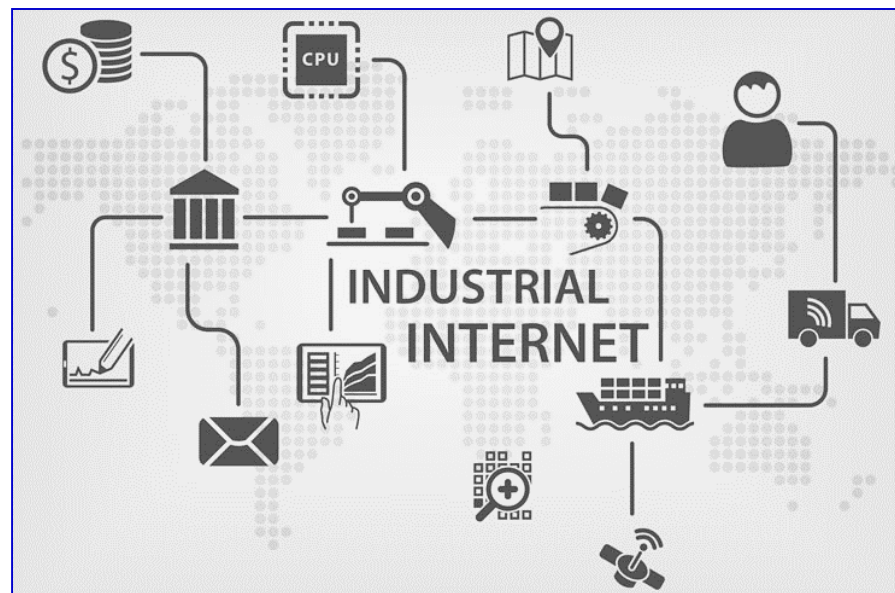


德国“工业4.0”和美国“工业互联网” 完善地阐述了数字化网络化制造范式， 完美地提出了实现数字化网络化制造的技术路线。

德国
工业4.0



美国
工业互联网



**过去这几年，
我国工业界大力推进“互联网+制造”，**

**■一方面，
一批数字化制造基础较好的企业
成功实现了数字化网络化升级；**

**■另一方面，
大量原来还没有完成数字化改造的企业，
采用并行推进数字化制造
和“互联网+制造”的技术路线，
完成了数字化制造的“补课”，
同时跨越到“互联网+制造”阶段。**

一、智能制造的基本范式与“并行推进、融合发展”的技术路线

1. 数字化制造(Digital Manufacturing)
2. “互联网+制造”——数字化网络化制造
(Smart Manufacturing)
3. 新一代智能制造——数字化网络化智能化制造
(Intelligent Manufacturing)
4. “并行推进、融合发展”的技术路线

3. 新一代智能制造——数字化网络化智能化制造 (Intelligent Manufacturing)

**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。**

**新一代人工智能技术与先进制造技术深度融合，
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。**

一、智能制造的基本范式与“并行推进、融合发展”的技术路线

1. 数字化制造(Digital Manufacturing)
2. “互联网+制造”——数字化网络化制造
(Smart Manufacturing)
3. 新一代智能制造——数字化网络化智能化制造
(Intelligent Manufacturing)
4. “并行推进、融合发展”的技术路线

4. “并行推进、融合发展”的技术路线

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需要重点解决的问题，体现着先进信息技术与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相互交织、迭代升级，体现着智能制造发展的**融合性特征**。

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。

**我国应发挥后发优势，
采取三个基本范式
“并行推进、融合发展”的技术路线，
走一条数字化、网络化、智能化并行推进的
智能制造创新之路。**

■一方面，我国必须坚持“创新引领”，直接利用互联网、大数据、人工智能等最先进的技术，推进先进信息技术和制造技术的深度融合；

■另一方面，我们必须实事求是，因企制宜、循序渐进地推进企业的技术改造、智能升级。充分利用我国推进“互联网+制造”的成功实践给我们提供的重要启示和宝贵经验，企业根据自身发展的实际需要，“以高打低”——采取先进的技术解决传统制造难于解决的问题，扎扎实实地完成数字化“补课”，同时，向更高的智能制造水平迈进。

一、智能制造的基本范式与“并行推进、融合发展”
的技术路线

二、**新一代智能制造引领和推动新一轮工业革命**

三、中国智能制造发展的战略建议

二、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. 新一代智能制造的基本原理：人-信息-物理系统(HCPS)

3. 新一代智能制造的系统集成

1. 新一代智能制造的发展背景

- 一方面，是制造业转型升级的**强烈需求**。
制造业亟需一场革命性的产业升级。
- 另一方面，是新一轮科技革命和产业变革的**历史性机遇**。

新世纪以来，
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。



这些历史性的技术进步，
集中汇聚在**新一代人工智能技术**的战略性突破。
新一代人工智能最本质的特征是
具备了**认知和学习的能力**，
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**。

当然，新一代人工智能技术还在极速发展的进程中，
将继续从“弱人工智能”迈向“强人工智能”，
应用范围将更加泛在、无所不在。

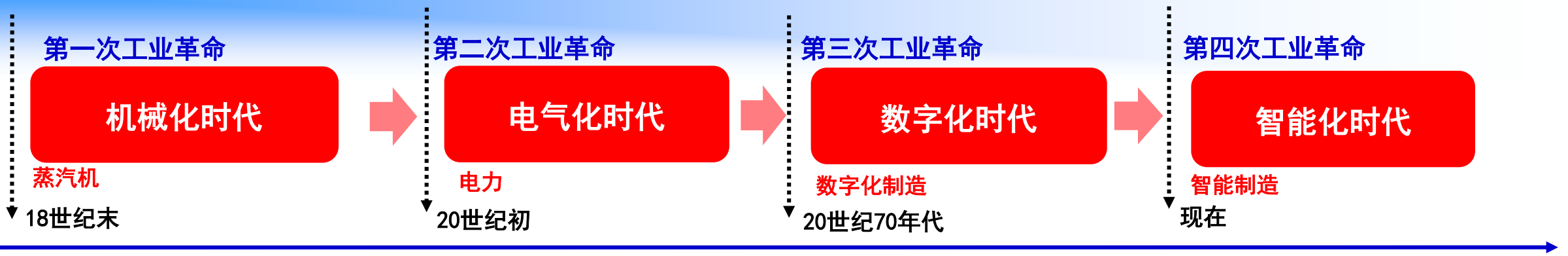
**新一代人工智能已经成为新一轮科技革命的核心技术，
正在形成推动经济社会发展的巨大引擎。**



我国充分认识到
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，
发布了“新一代人工智能发展规划”，
以抓住机遇，抢占先机。

世界主要发达国家
也都把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。**

**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，
引领真正意义上的“工业4.0”，
实现第四次工业革命。**

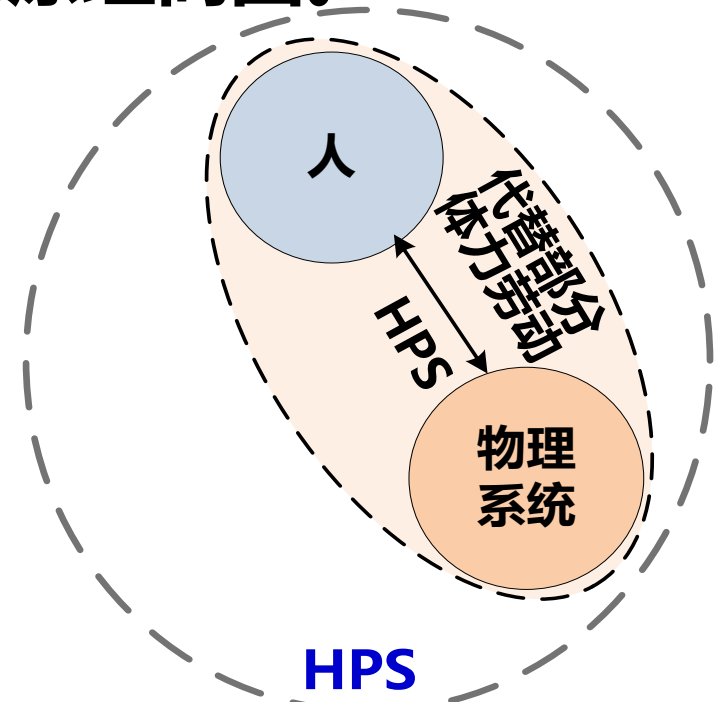
二、新一代智能制造引领和推动新一轮工业革命

1. 新一代智能制造的发展背景
2. 新一代智能制造的基本原理：人-信息-物理系统(HCPS)
3. 新一代智能制造的系统集成

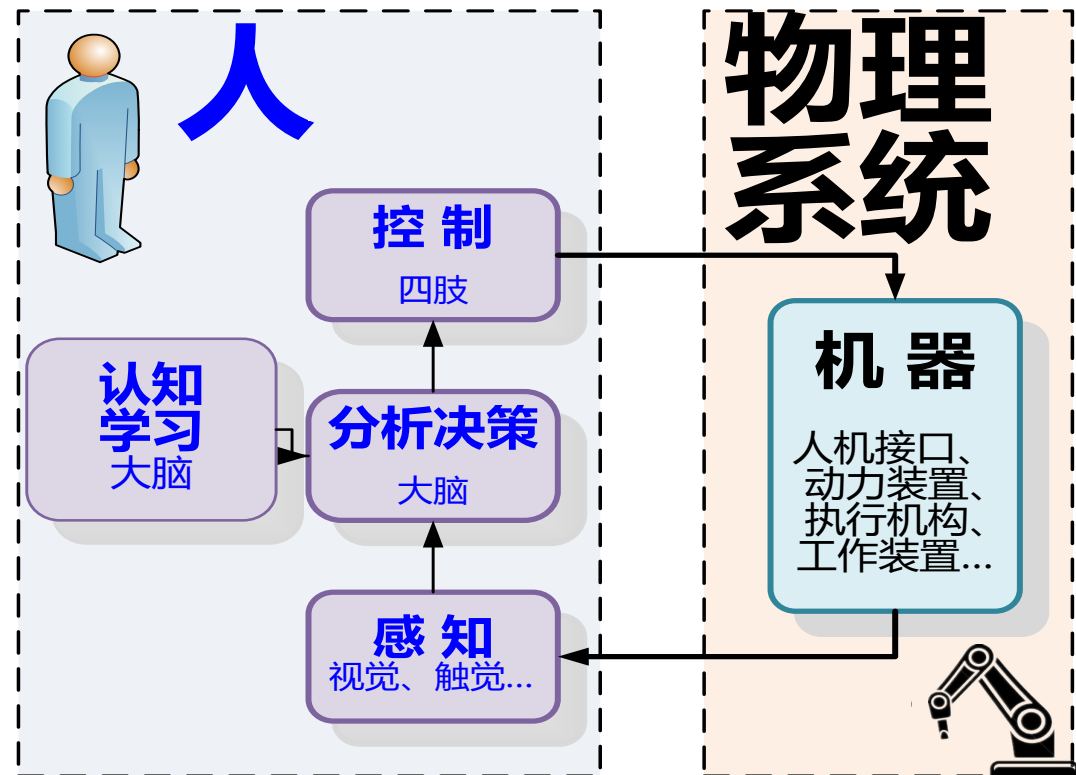
2. 新一代智能制造的基本原理：人-信息-物理系统(HCPS)

(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，如右下图所示。

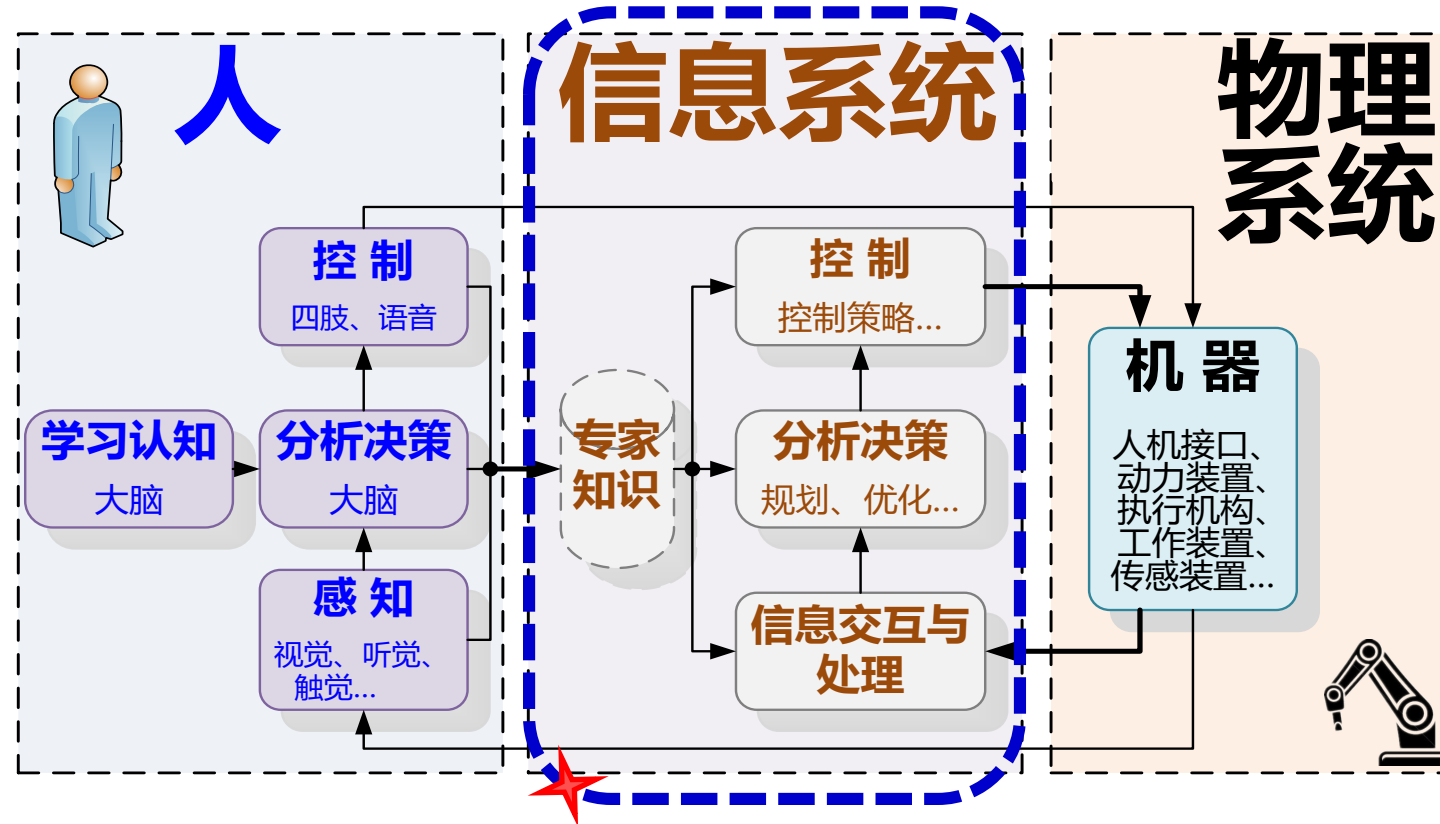
左图是这个“人-物理系统”（HPS—Human-Physical Systems）的原理简图。



HPS
人-物理系统
传统制造系统

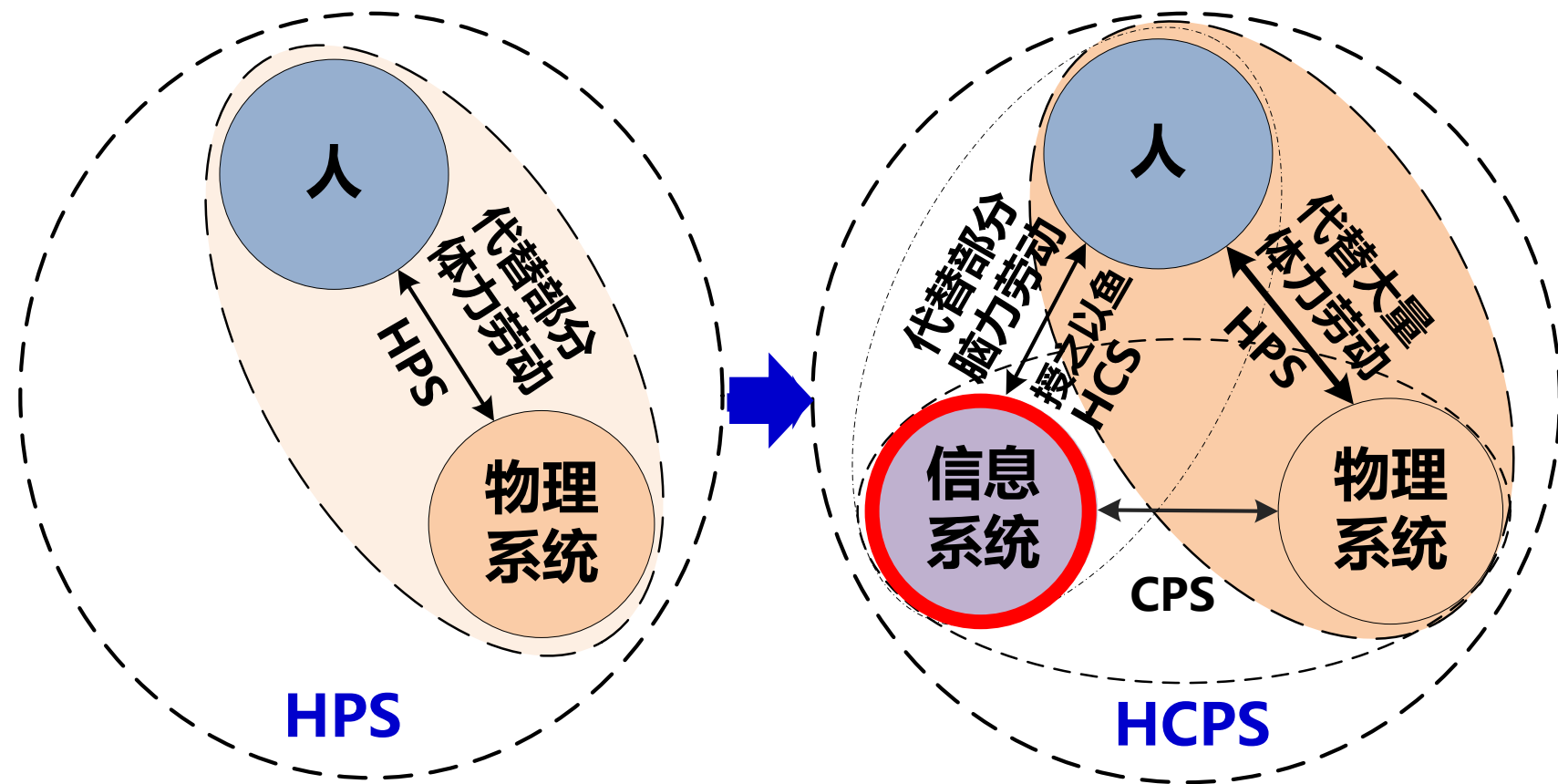


(2) 与传统制造系统相比第一代和第二代智能制造系统发生的最本质的变化是，在人和物理系统之间增加了信息系统(Cyber system)。



信息系统可以代替人类完成部分脑力劳动，人的相当部分的感知、分析、决策功能向信息系统复制迁移，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，

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-Physical Systems）。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。



人-物理系统
传统制造系统

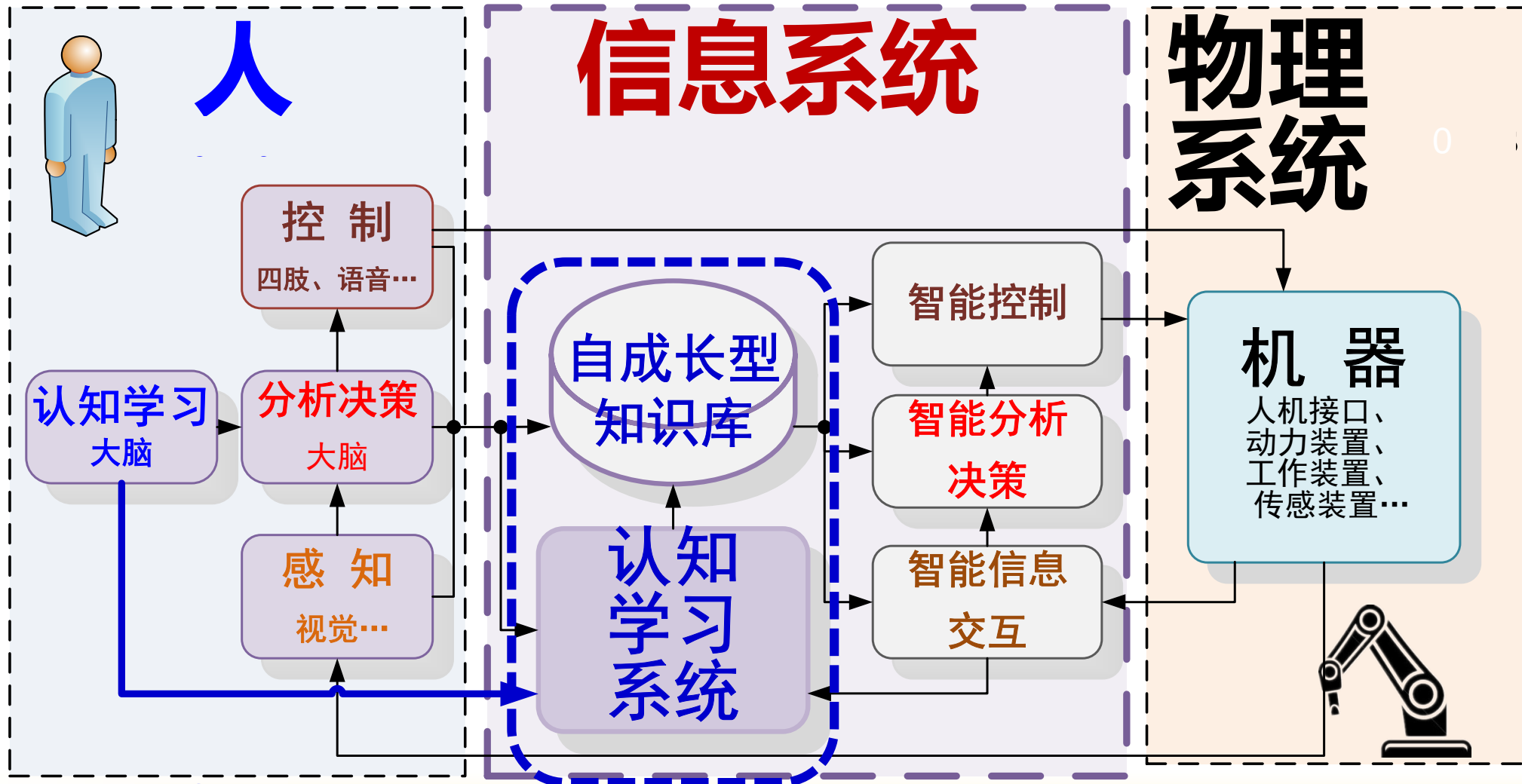
人-信息-物理系统
第一代和第二代智能制造系统

**在HCPS中，“信息-物理系统”
(CPS—Cyber-Physical Systems)
是非常重要的组成部分。**

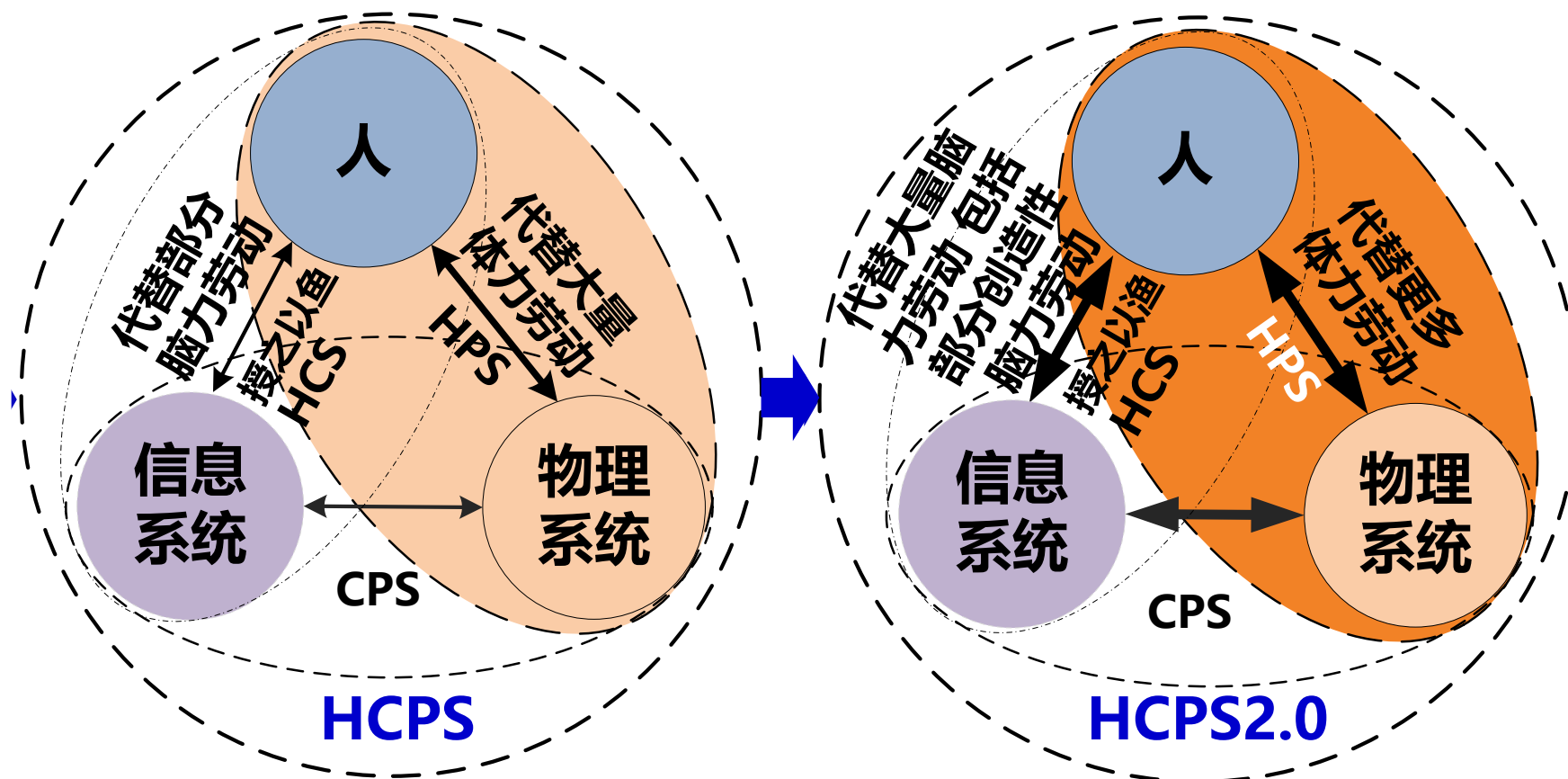
**美国在本世纪初提出了CPS的理论，
德国将其作为工业4.0的核心技术。
CPS实现了信息系统和物理系统的深度融合，
即实现了**数字双胞胎 (Digital Twin)**，
成为实现第一代和第二代智能制造的技术基础。**



(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。



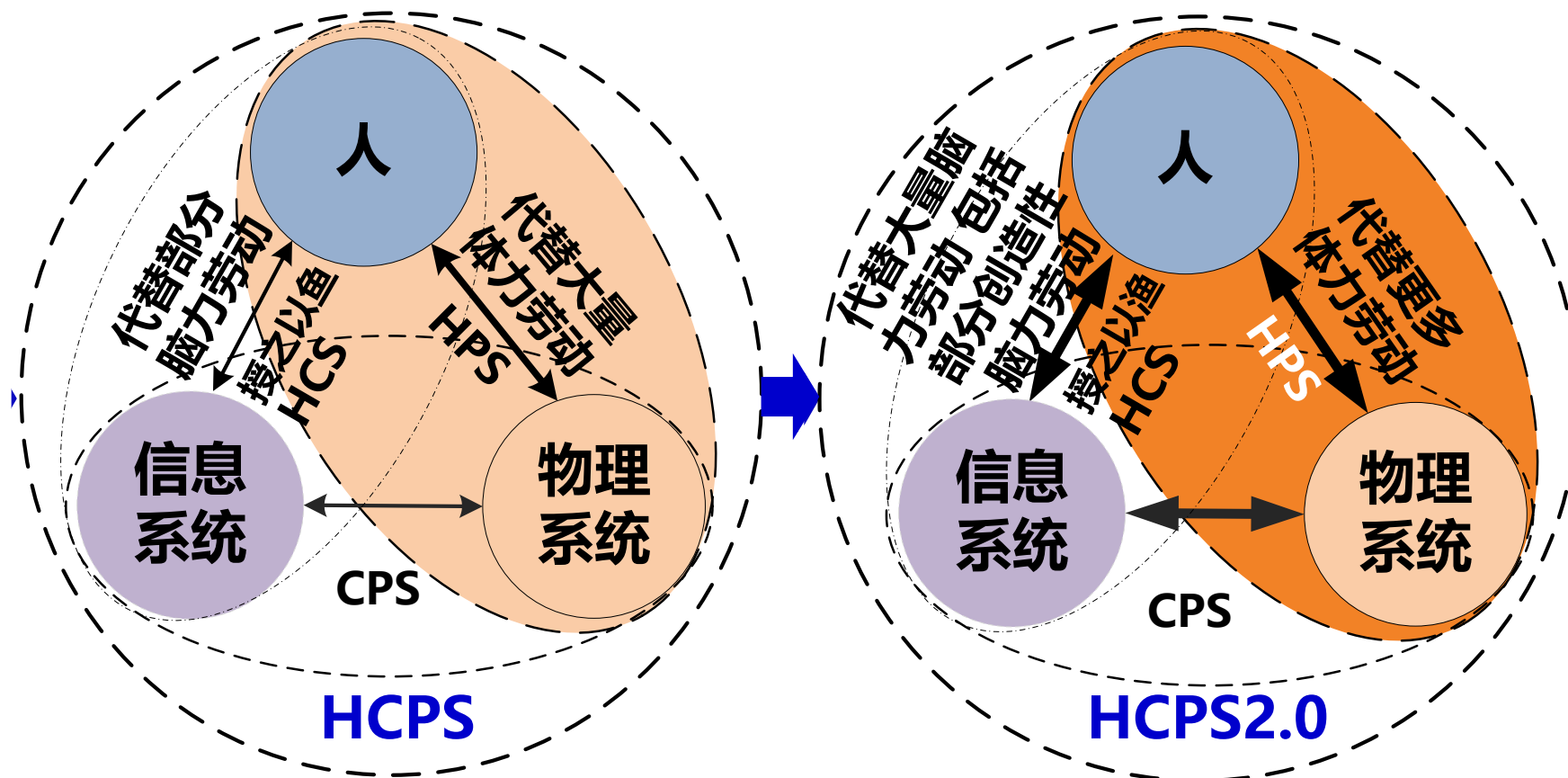
在这一阶段，新一代人工智能技术将使“人-信息-物理系统”发生质的变化，形成新一代人-信息-物理系统（HCPS2.0）。主要变化在于：



人-信息-物理系统
第一代和第二代智能制造系统

新一代人-信息-物理系统
新一代智能制造系统

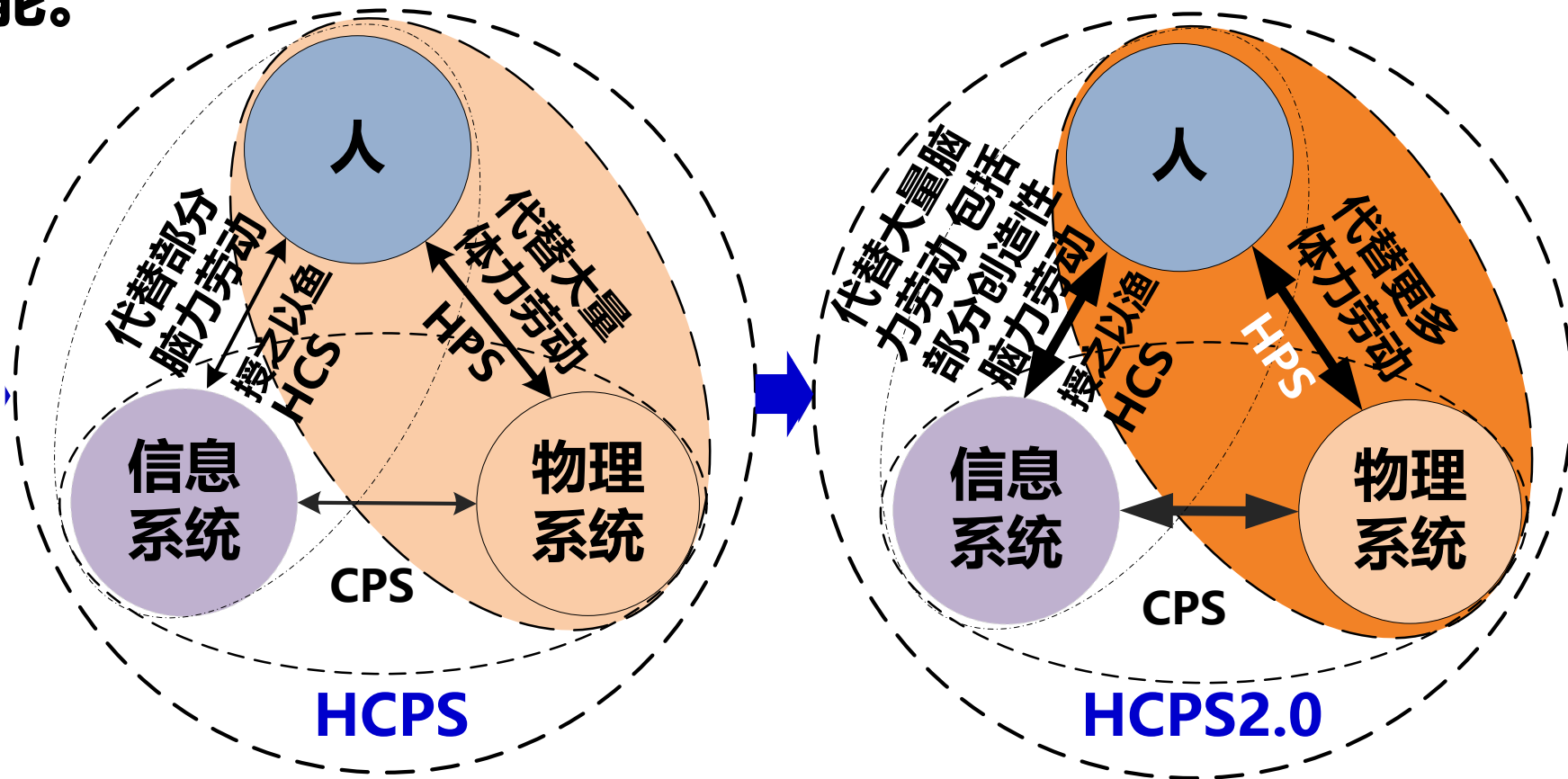
第一，人将部分认知与学习型的脑力劳动转移给信息系统，因而信息系统具有了“认知和学习”的能力，人和信息系统的关系发生了根本性的变化，即从“授之以鱼”发展到“授之以渔”；



人-信息-物理系统
第一代和第二代智能制造系统

新一代人-信息-物理系统
新一代智能制造系统

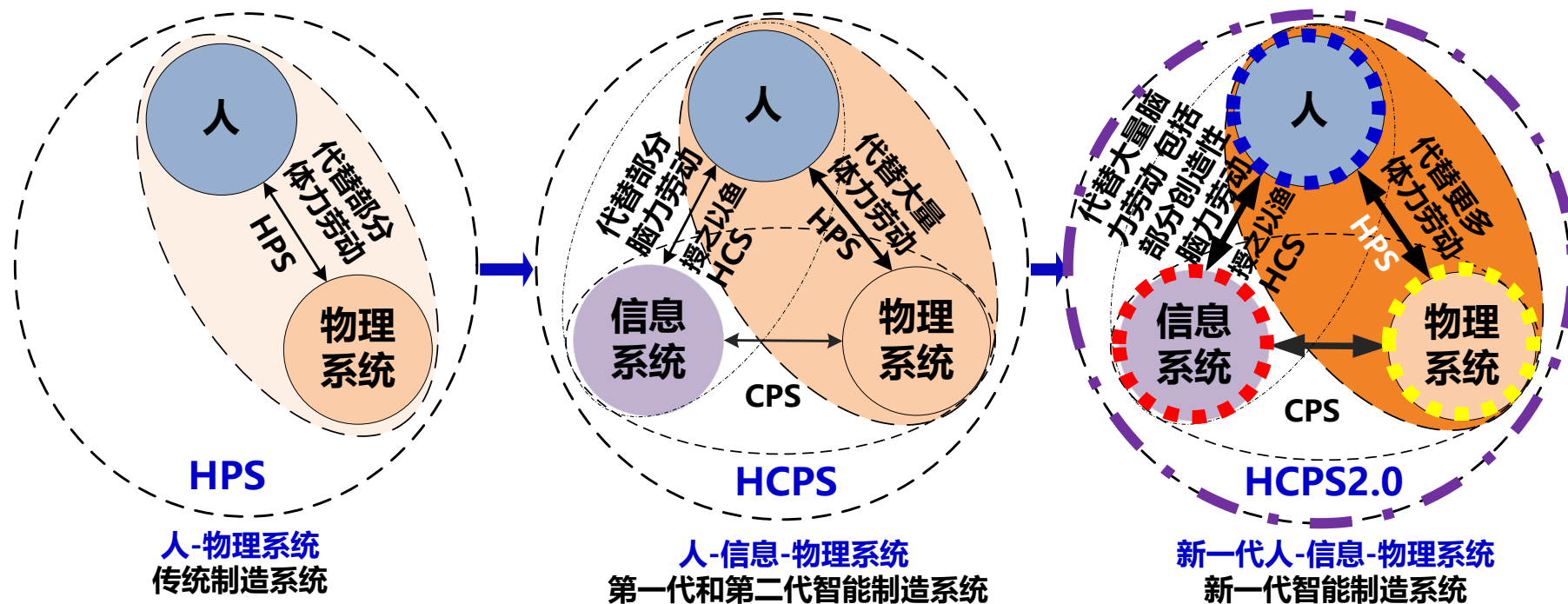
第二，通过“人在回路”的混合增强智能，人机深度融合将从本质上提高制造系统处理复杂性、不确定性问题的能力，极大提高制造系统的性能。



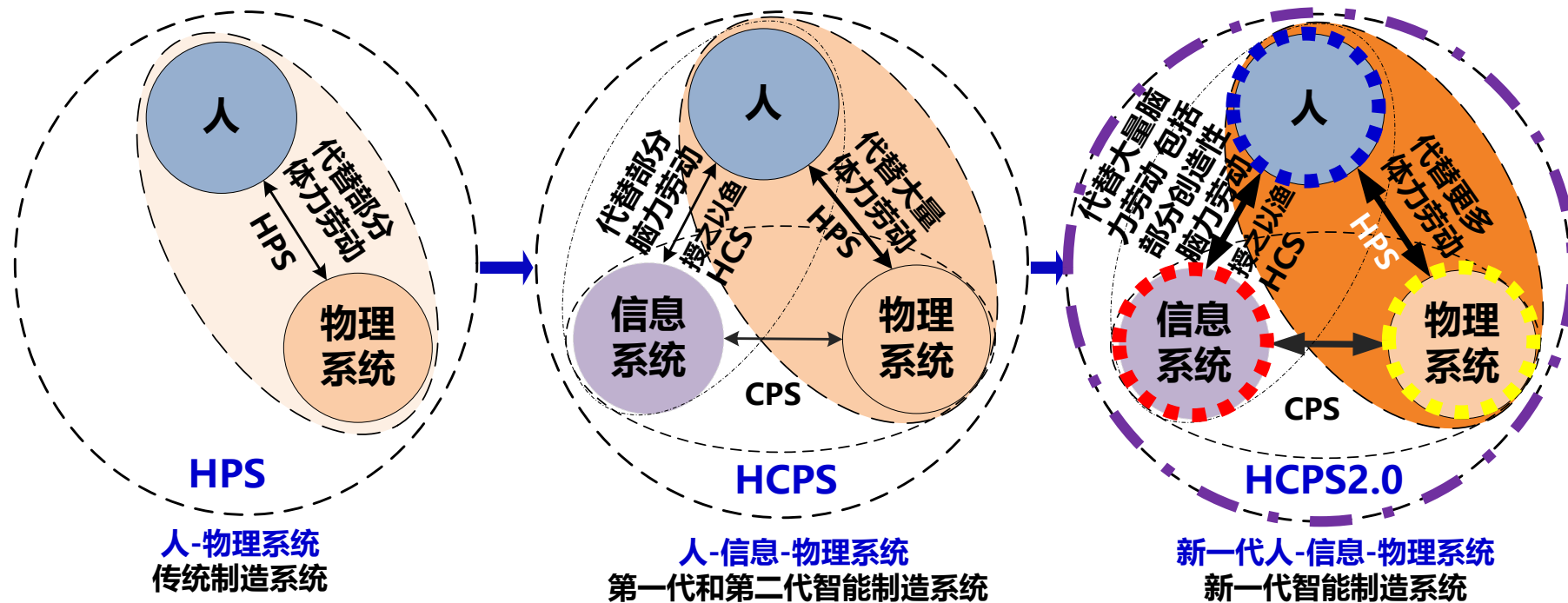
人-信息-物理系统
第一代和第二代智能制造系统

新一代人-信息-物理系统
新一代智能制造系统

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，
 将使制造业的质量和效率跃升到新的水平；



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**”。

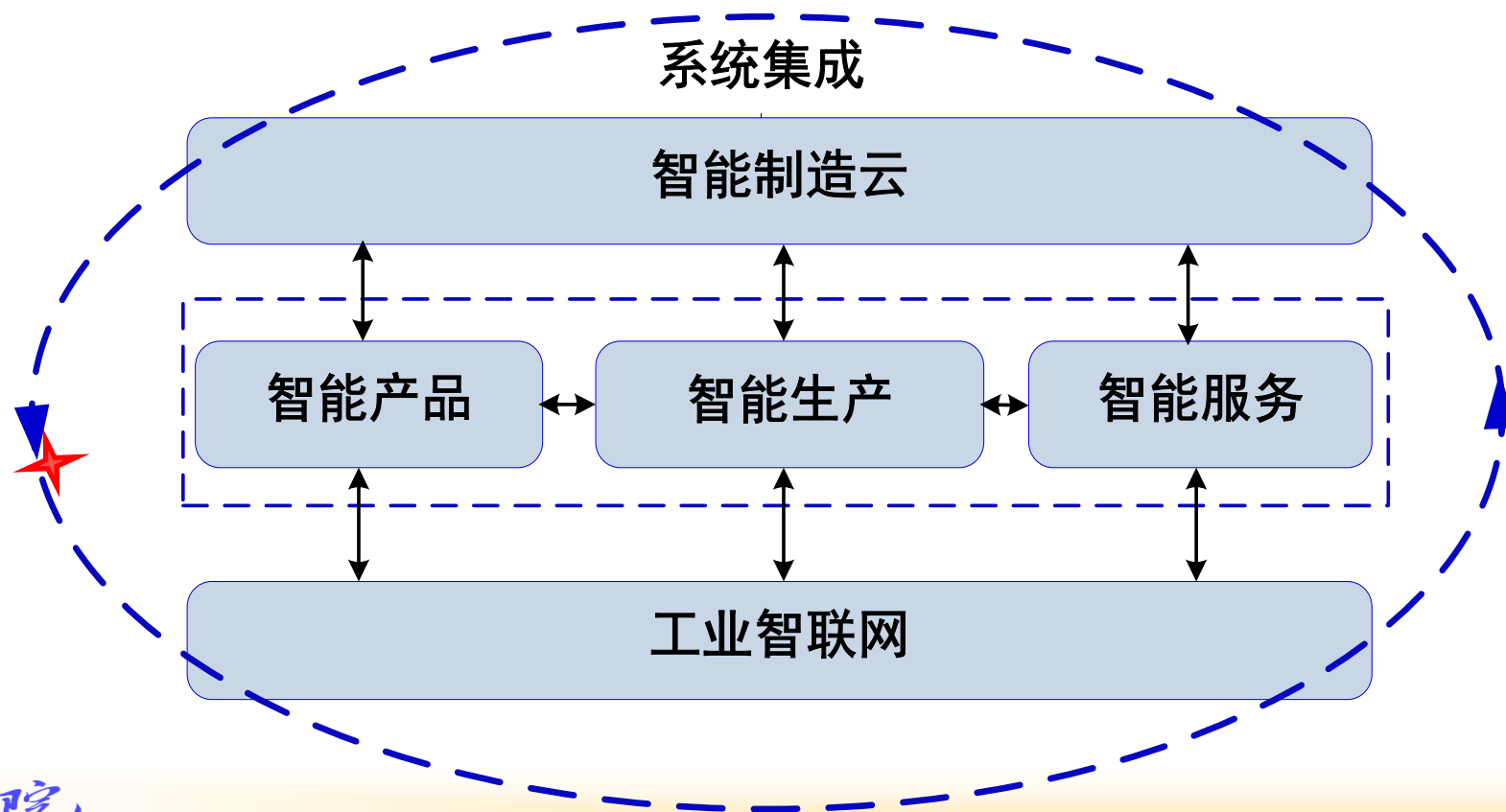


二、新一代智能制造引领和推动新一轮工业革命

1. 新一代智能制造的发展背景
2. 新一代智能制造的基本原理：人-信息-物理系统(HCPS)
3. 新一代智能制造的系统集成

3. 新一代智能制造的系统集成

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**智能制造云和工业物联网**两大支撑系统集成而成。



3. 新一代智能制造的系统集成

- (1) 智能产品和装备是新一代智能制造系统的主体
- (2) 智能生产是新一代智能制造系统的主线
- (3) 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
- (4) 智能制造云和工业物联网是支撑新一代智能制造系统的基础
- (5) 系统集成

(1) 智能产品和装备是新一代智能制造系统的主体

**新一代人工智能技术的融入
使得产品和装备产生革命性变化。**

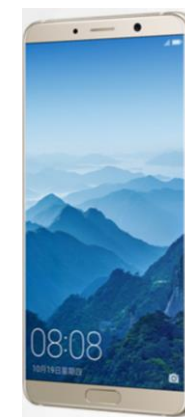
**从智能手机和智能汽车的飞速发展，
我们可以想象智能产品和装备未来的发展前景。**





Iphone X

我们现在使用的智能手机，
计算能力远远超过当年的
超级计算机Cray-2。
最新上市的iPhone X和华为mate10
已经搭载了人工智能芯片，
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。



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

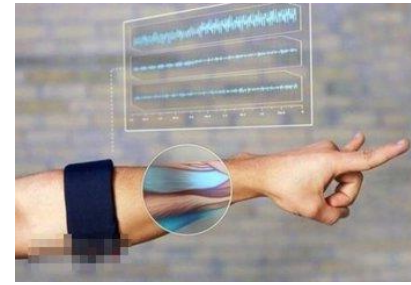


**新一代智能制造技术
将为产品和装备的创新插上腾飞的翅膀、
开辟更为广阔的天地。**

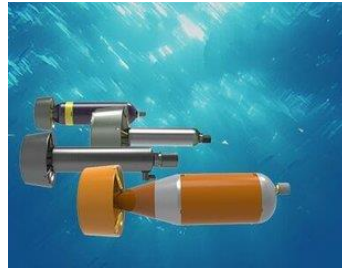
**到2035年，
各种产品和装备
都将从“数字一代”发展成“智能一代”，
升级为智能产品和装备。**



**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、
智能服务机器人、智能玩具等等，
为人民更加美好的生活服务；**



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、
火车、能源装备、医疗装备、农业装备等，
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。



3. 新一代智能制造的系统集成

- (1) 智能产品和装备是新一代智能制造系统的主体
- (2) 智能生产是新一代智能制造系统的主线**
- (3) 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
- (4) 智能制造云和工业物联网是支撑新一代智能制造系统的基础
- (5) 系统集成

(2) 智能生产是新一代智能制造系统的主线

智能工厂是智能生产的主要载体。
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。

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，
企业将会向自学习、自适应、自控制的新一代智能工厂进军。



■ **流程工业**在国民经济中占有基础性的战略地位，
最有可能率先突破新一代智能制造。
如石化行业智能工厂建立**数字化网络化智能化的**
生产运营管理新模式，可极大提高生产优化、安全环保水平。



- **离散型智能工厂**将应用新一代人工智能技术实现加工质量的升级、加工工艺的优化、加工装备的健康保障、生产的智能调度和管理，**建成真正意义上的智能工厂。**



**“机器换人”，企业生产能力的技术改造、智能升级，
不仅仅能解决生产一线劳动力短缺和人力成本高升的问题，
更是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，
企业的生产能力升级
—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. 新一代智能制造的系统集成

- (1) 智能产品和装备是新一代智能制造系统的主体
- (2) 智能生产是新一代智能制造系统的主线
- (3) 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**
- (4) 智能制造云和工业物联网是支撑新一代智能制造系统的基础
- (5) 系统集成

(3) 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

**新一代人工智能技术的应用
催生了产业模式的革命性转变，
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。**

- **一方面，产业模式从大规模流水线生产转向规模定制化生产，**
- **另一方面，产业形态从生产型制造向生产服务型制造转变，
完成深刻的供给侧结构性改革。**



GE公司创立了运用智能制造技术向服务型制造转型的典范。

**GE将大量传感器安装在飞机发动机叶片上，
运用大数据智能技术，实行实时智能分析和智能控制，
形成了航空发动机的“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。**



3. 新一代智能制造的系统集成

- (1) 智能产品和装备是新一代智能制造系统的主体
- (2) 智能生产是新一代智能制造系统的主线
- (3) 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
- (4) 智能制造云和工业物联网是支撑新一代智能制造系统的基础**
- (5) 系统集成

(4) 智能制造云和工业物联网是支撑新一代智能制造系统的基础

随着新一代通讯技术、网络技术、云技术和人工智能技术的发展和应用，
智能制造云和工业物联网将实现质的飞跃，
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。



3. 新一代智能制造的系统集成

- (1) 智能产品和装备是新一代智能制造系统的主体
- (2) 智能生产是新一代智能制造系统的主线
- (3) 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
- (4) 智能制造云和工业物联网是支撑新一代智能制造系统的基础
- (5) 系统集成**

(5) 系统集成

系统集成将智能制造各功能系统和支撑系统集成成为新一代智能制造系统。

系统集成是新一代智能制造最基本的特征和优势，新一代智能制造内部和外部均呈现系统“大集成”，具有集中与分布、统筹与精准、包容与共享的特性。



一、智能制造的基本范式与“并行推进、融合发展”
的技术路线

二、新一代智能制造引领和推动新一轮工业革命

三、中国智能制造发展的战略建议

三、中国智能制造发展的战略建议

未来20年，是中国制造业实现由大到强的关键时期，也是制造业发展质量变革、效率变革、动力变革的关键时期。我们必须紧紧抓住新一轮科技革命与产业变革带来的千载难逢的战略机遇，以实现制造强国为目标，以深化供给侧结构性改革为主线，以智能制造为主攻方向，坚持“并行推进、融合发展”的技术路线，围绕产业链部署创新链，围绕创新链完善资金链，形成经济、科技和金融的深度融合、良性循环，实现中国制造业智能升级、跨越发展。

**未来20年，
我国的智能制造发展总体将分成两个阶段来实现。**

第一阶段，到2025年：

**“互联网+制造”——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普及；
同时，新一代智能制造
在重点领域试点示范取得显著成果，
并开始有部分企业推广应用。**

第二阶段，到2035年：

**新一代智能制造在全国制造业实现大规模推广应用，
我国智能制造技术和应用水平走在世界前列，
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，
为2045年我国建成世界领先的制造强国奠定坚实基础。**

**在推进智能制造的进程中，
要坚持“五个坚持”的方针。**

一是要坚持创新驱动：

**我们必须抓住新一代智能制造的历史性机遇，
以科技创新作为中国制造业转型升级的第一动力。**

二是要坚持因企制宜：

**推动智能制造，必须坚持以企业为主体，
以实现企业转型升级为中心任务。
要充分激发企业的内生动力，
各个企业，特别是广大中小企业，
要实事求是地实施适合自己转型升级的技术路径。**

三是要坚持产业升级：

**推动智能制造的目的在于产业升级，
要着眼于广大企业、各个行业和整个制造产业。
实现中国制造业全方位的现代化转型升级。**

四是要坚持建设良好的发展生态：

**各级政府、科技界、学界、金融界
要共同营造良好的生态环境，
帮助和支持企业特别是广大中小企业的智能升级。**

五是要坚持开放与协同创新：

**中国制造业界
要不断扩大与世界各国制造业界的交流，
实行更高水平的开放。**

**中国的市场是开放的市场，
中国的创新体系是开放的创新体系。
我们要和世界制造业的同行们共同努力，
共同推进新一代智能制造，
共同推进新一轮工业革命，
使制造业更好地为人类造福。**