



《智能制造系统基础》第5讲

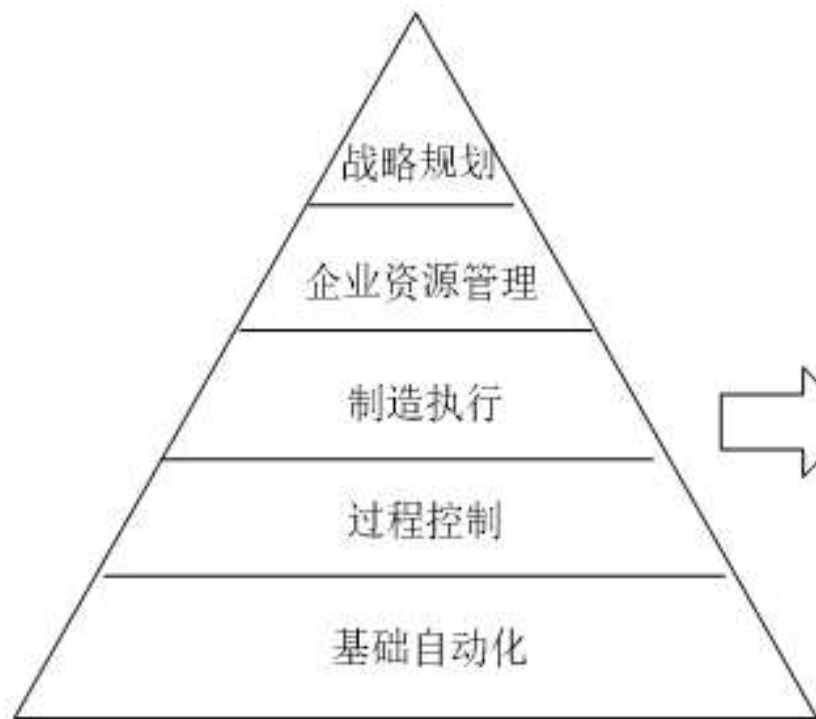
基于信息物理系统 (CPS) 的 智能制造系统

东北大学信息科学与工程学院
智能技术与应用研究所

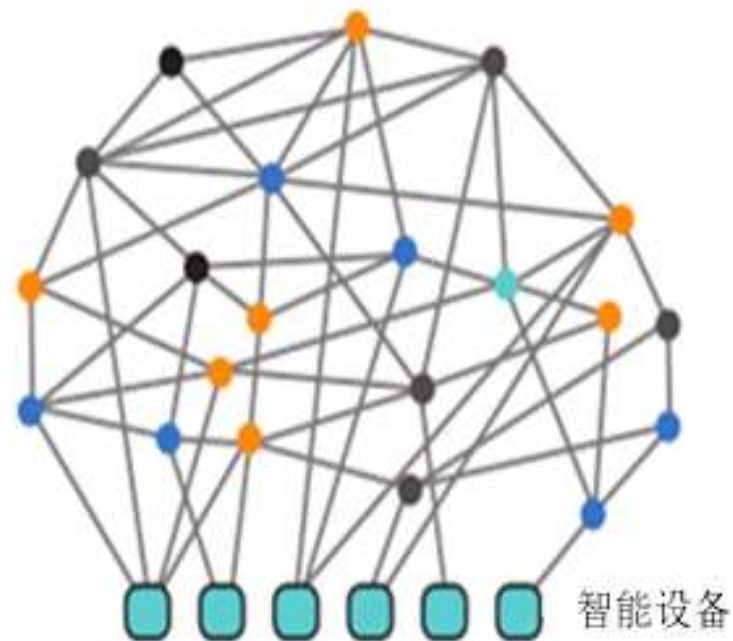
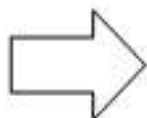




序



企业现行信息化体系结构



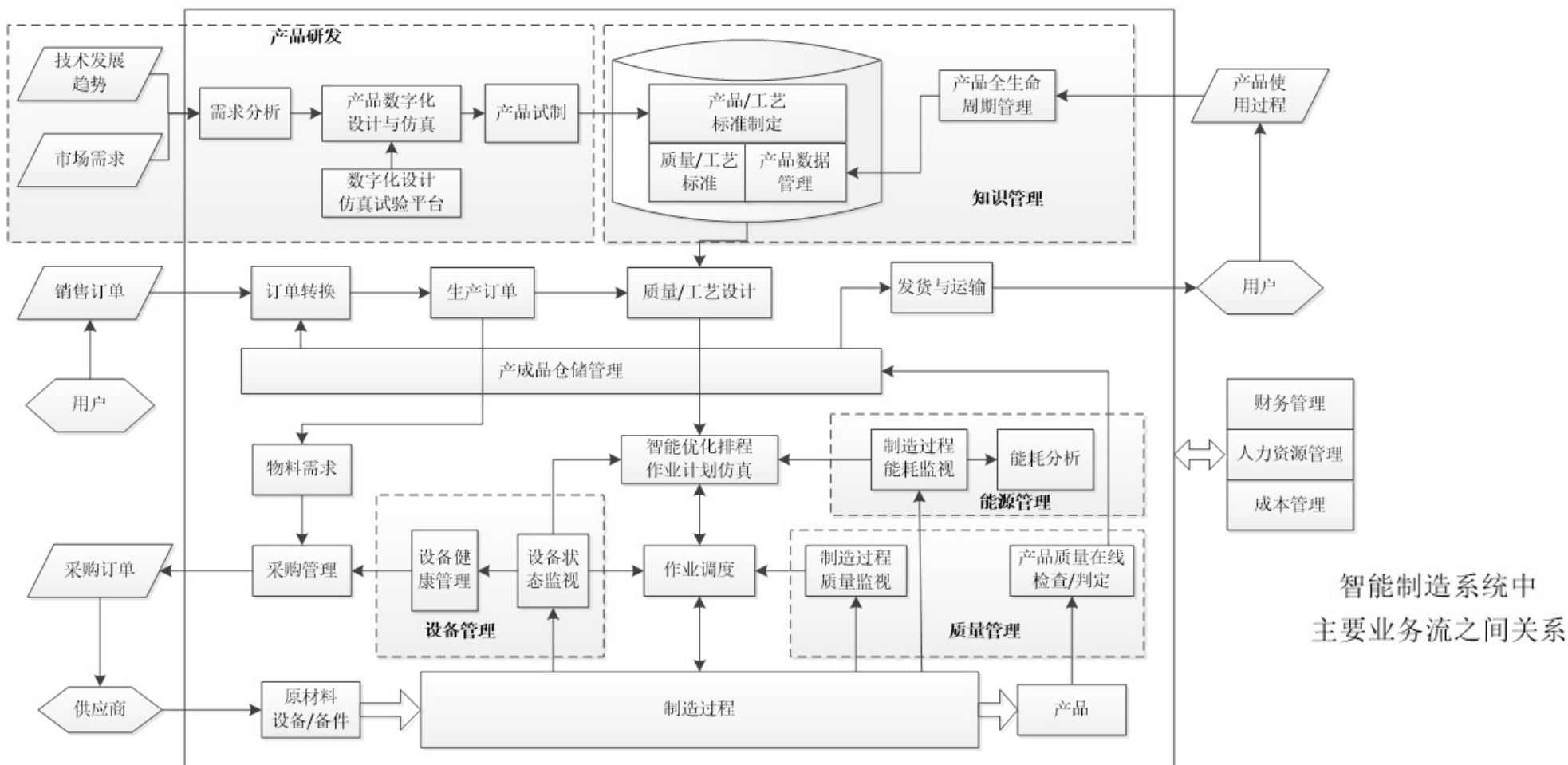
基于CPS 的企业信息化体系结构

信息化体系结构的转变

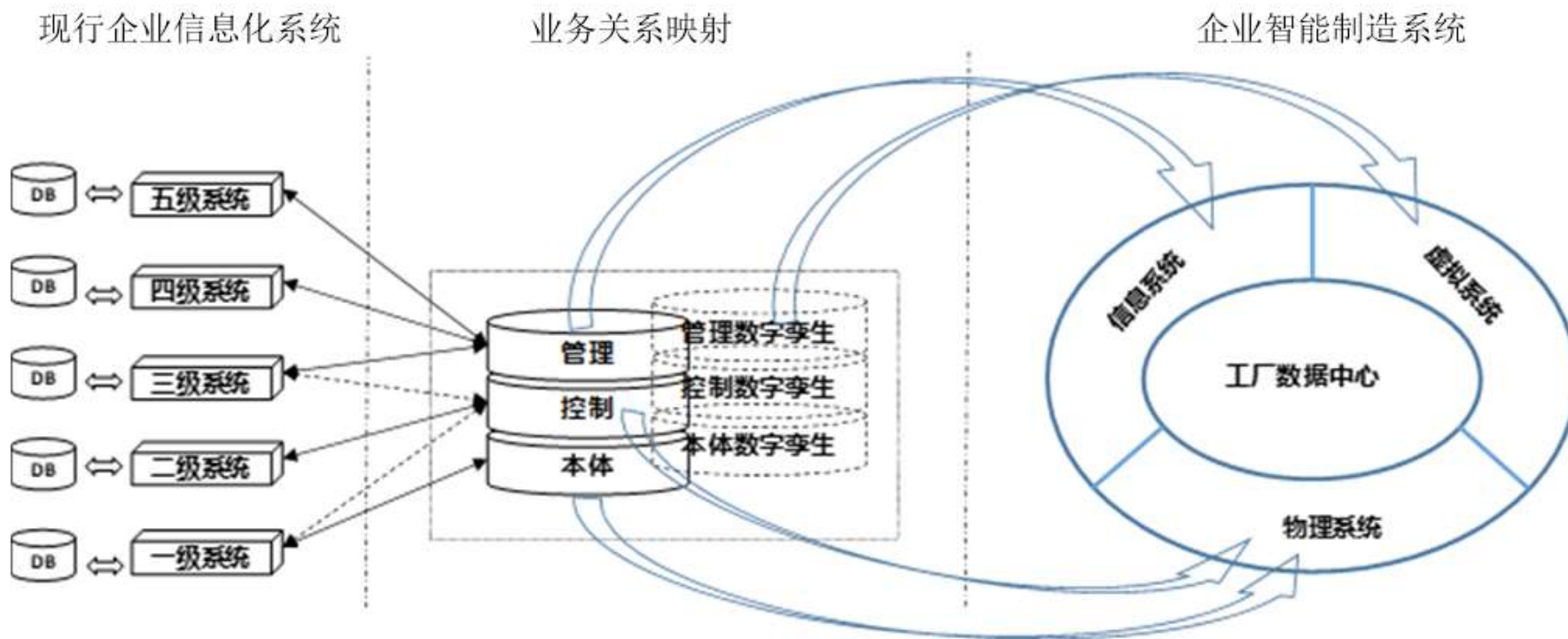




序



智能制造系统中
主要业务流之间关系



现行企业信息化系统与企业智能制造系统的功能映射图



序





- 一. 信息物理系统（CPS）的内涵
- 二. 基于CPS的智能制造系统体系架构与基本概念
- 三. 智能制造系统的单元级CPS
- 四. 智能制造系统的系统级 CPS
- 五. 智能制造系统的SoS级CPS

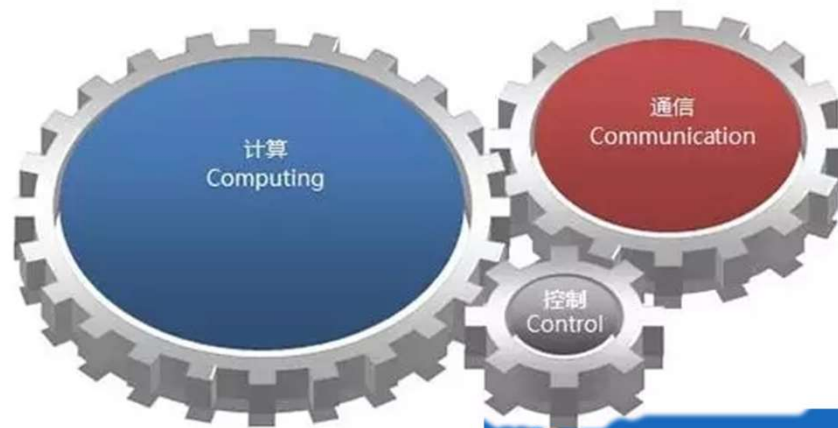


- 一. 信息物理系统（CPS）的内涵
- 二. 基于CPS的智能制造系统体系架构与基本概念
- 三. 智能制造系统的单元级CPS
- 四. 智能制造系统的系统级 CPS
- 五. 智能制造系统的SoS级CPS



1. CPS的概念

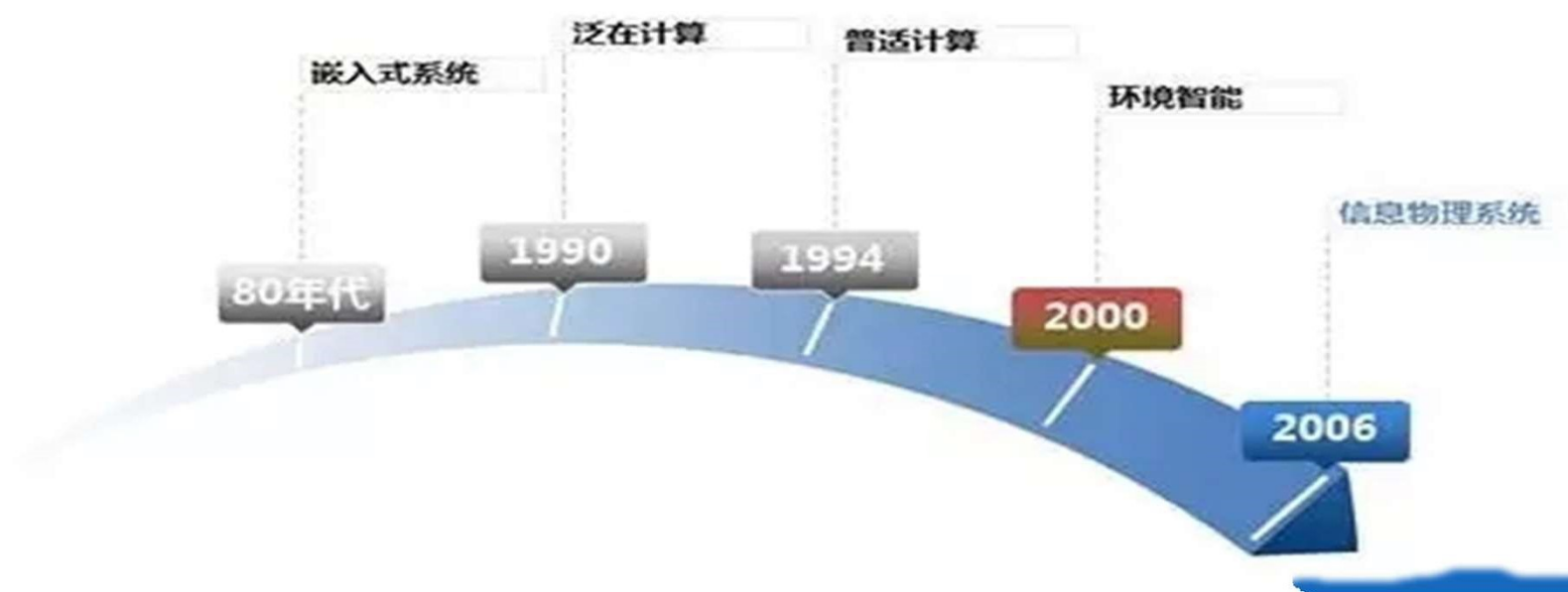
信息物理系统 (CPS, Cyber-Physical Systems) 是一个综合计算、网络和物理环境的多维复杂系统，通过**3C** (Computing、Communication、Control) 技术的有机融合与深度协作，实现大型工程系统的实时感知、动态控制和信息服务。CPS实现计算、通信与物理系统的一体化设计，可使系统更加可靠、高效、实时协同，具有重要而广泛的应用前景。信息物理系统通过人机交互接口实现和物理进程的交互，使用网络化空间以远程的、可靠的、实时的、安全的、协作的方式操控一个物理实体。





1. CPS的概念

按现在普遍的观点，信息物理系统（CPS）是由信息世界-**Cyber**和物理世界实体的世界-**Physical**组成的系统。CPS概念是从上世纪80年代的嵌入式系统演变而来。经历1990年的**泛在计算**、1994年的**普适计算**、2000年的**环境智能**，直到2006年才发展成为信息物理系统。





1. CPS的概念

在制造领域，信息世界-Cyber是指工业软件和管理软件、工业设计、互联网和移动互联网等；物理世界是指能源环境、人、工作环境、工厂以及机器设备、原料与产品等。这两者一个属于实体世界，一个属于虚拟世界；一个属于物理世界，一个属于数字世界，将两者实现一一对应和相互映射的是物联网，因其是物联网在工业中的应用，又称之为工业物联网。我们通常又将其等同于美国提出的工业互联网。





1. CPS的概念

我国《**信息物理系统白皮书（2017）**》给出对CPS的定义，即：CPS通过集成先进的感知、计算、通信、控制等信息技术和自动控制技术，构建了物理空间与信息空间中人、机、物、环境、信息等要素相互映射、适时交互、高效协同的复杂系统，实现系统内资源配置和运行的按需响应、快速迭代、动态优化。



2. CPS的本质

CPS是典型的开放智能系统, 其发展的较高层次应具有开放智能系统的五个基本特征: **状态感知、实时分析、自主决策、精准执行和学习提升**, 即“**20字箴言**”。

CPS通过软硬件配合, 可以完成物理实体与环境、物理实体之间 (包括设备、人等) 的感知、分析、决策和执行。设备将在统一的接口协议或者接口转化标准下连接, 形成具有通信、精确控制、远程协调能力的系统。通过实时感知分析数据信息, 并将分析结果固化为知识、规则保存到**知识库、规则库**中。知识库和规则库中的内容, 一方面帮助企业建立精准、全面的生产图景, 企业根据所呈现的信息可以在最短时间内掌握生产现场的变化, 从而作出准确判断和快速应对, **在出现问题时得到快速合理的解决**; 另一方面也可以在一定的规则约束下, **将知识库和规则库中的内容分析转化为信息**, 通过设备网络进行自主控制, 实现资源的合理优化配置与协同制造。



3. CPS的层级

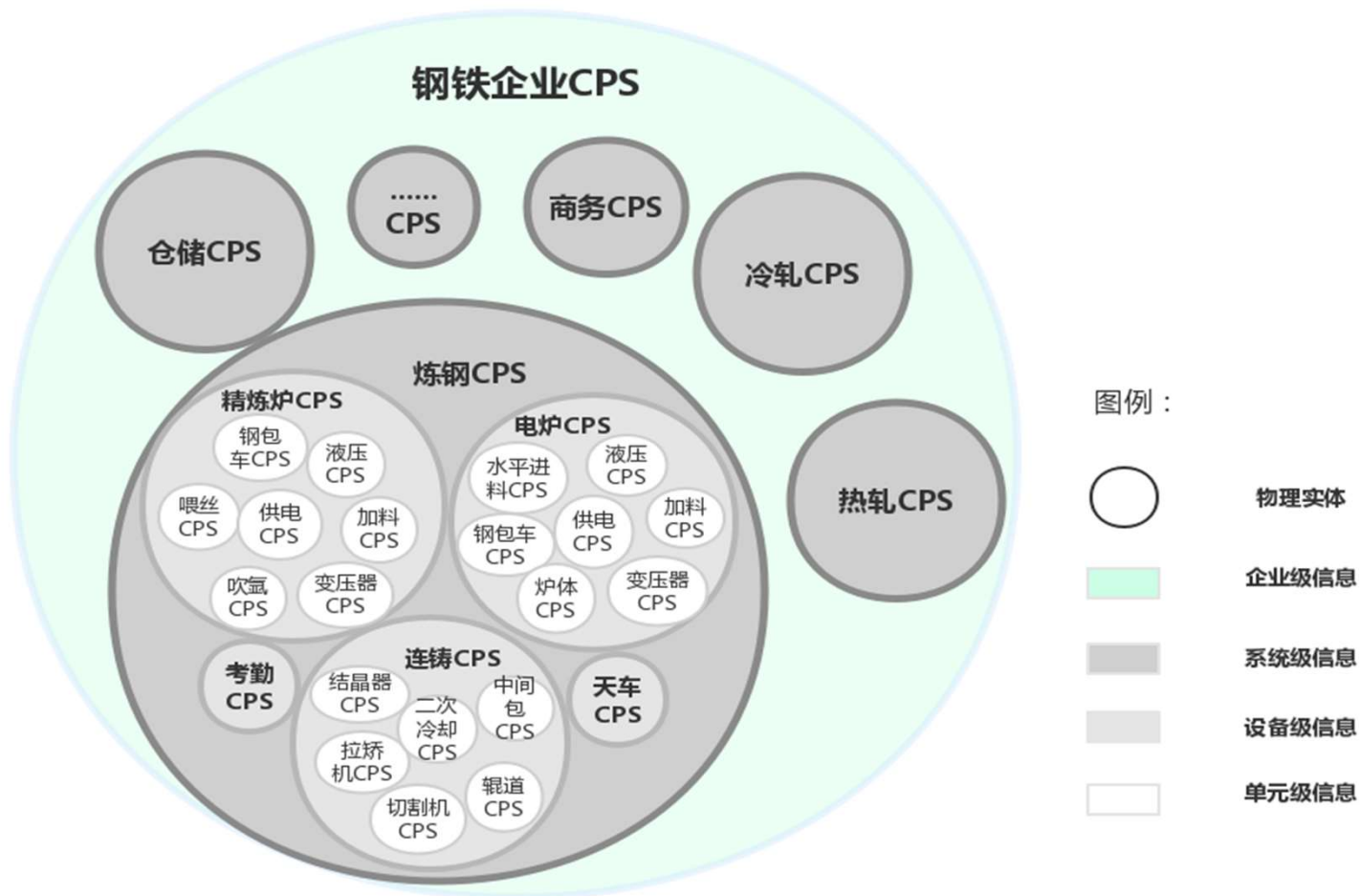
CPS具有层次性，一个智能部件、一台智能设备、一条智能产线、一个智能工厂都可能成为一个CPS。同时CPS还具有系统性，一个工厂可能涵盖多条产线，一条产线也会由多台设备组成。因此，对CPS的研究要明确其层次，定义一个CPS最小单元结构。

CPS划分为**单元级、系统级、SoS级**（System of Systems，系统之系统级）三个层次。



3. CPS的层级

单元级CPS可以通过组合与集成（如CPS总线）构成更高层次的CPS，即**系统级CPS**；系统级CPS可以通过工业云、工业大数据等平台构成**SoS级的CPS**，实现企业级层面的数字化运营。





4. CPS的特征

CPS作为支撑两化深度融合的一套综合技术体系，构建了一个能够联通物理空间与信息空间，驱动数据在其中自动流动，实现对资源优化配置的智能系统。这套系统的灵魂是**数据**，在系统的有机运行过程中，通过数据自动流动对物理空间中的物理实体逐渐“赋能”，实现对特定目标资源优化的同时，表现出以下六大典型特征：**数据驱动、软件定义、泛在连接、虚实映射、异构集成、系统自治。**

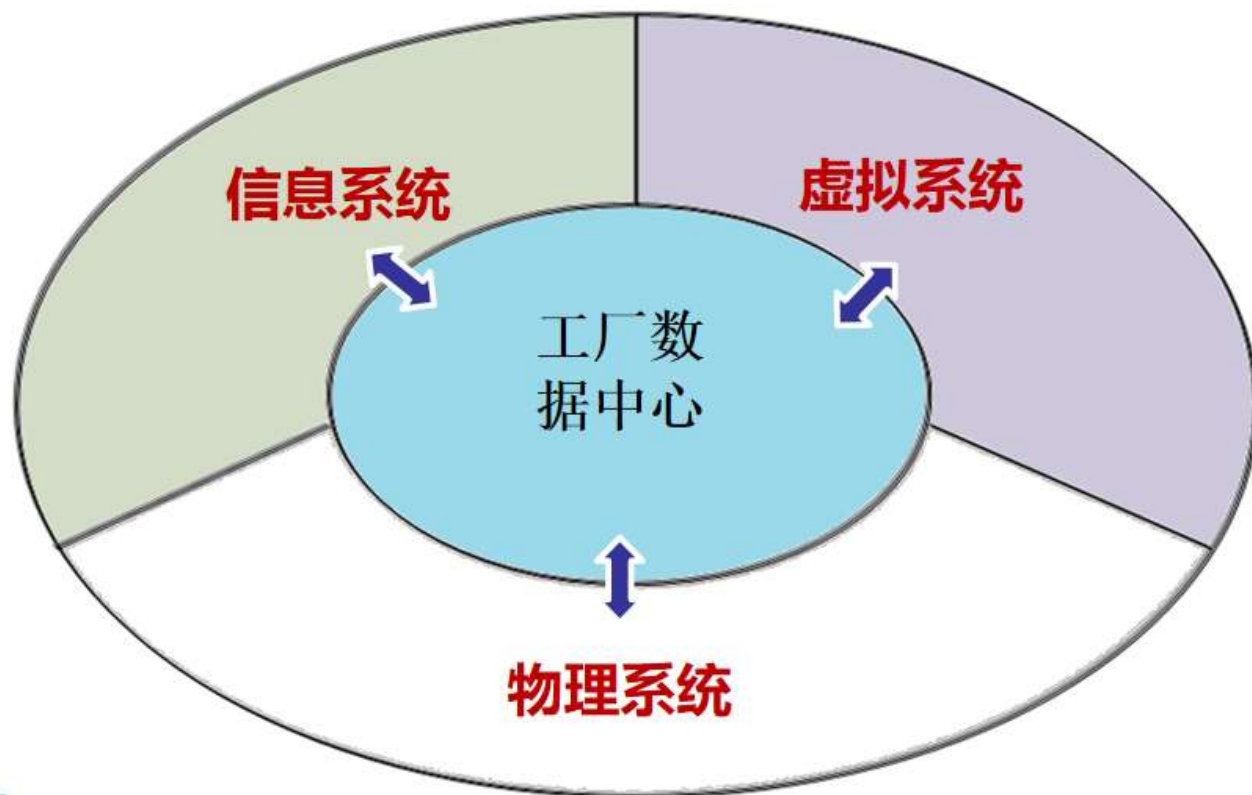


- 一. 信息物理系统（CPS）的内涵
- 二. 基于CPS的智能制造系统体系架构与基本概念
- 三. 智能制造系统的单元级CPS
- 四. 智能制造系统的系统级 CPS
- 五. 智能制造系统的SoS级CPS



1. 基于CPS的智能制造系统体系架构

该架构体系是一种质量一体化和产销一体化集成管控体系，在信息传递上打破原有的层次结构，实现数据中心化，分为**工厂数据中心**、**物理系统**、**虚拟系统**和**信息系统**四大部分。





1. 基于CPS的智能制造系统基本概念

(1) 物理系统的概念

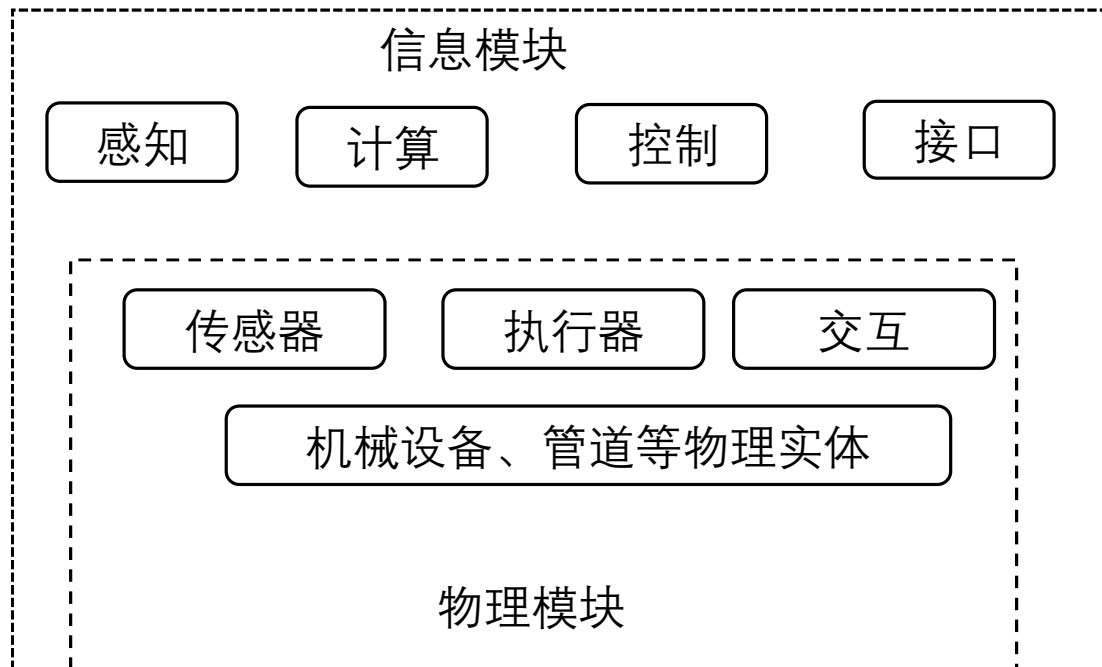
将整个制造过程称为CPS体，为SoS级。其物理系统由**系统级CPS**构成。而系统级CPS的物理系统由现场设备本体及其控制-信息系统组成。企业具有实体的生产要素包括各种设备、物料以及人员等按照生产流程及生产功能组织成不同的生产单元，这些单元构成了系统级CPS的物理系统。系统级CPS的物理系统又细分为两级CPS：**智能单元**和**智能设备**。智能单元是企业最基本的CPS单元，**多个智能单元一起组成一个智能设备**，按照白皮书的概念理解，智能设备也属于系统级CPS。



(1) 物理系统的概念

① 智能单元

智能单元是具有不可分割性的最小生产单元，其本质是通过软件对物理实体及环境进行状态感知、计算分析，并最终控制到物理实体，构建最基本的自动流动的数据闭环，形成物理世界和信息世界的融合交互。同时，为了与外界进行交互，智能单元应具有通信功能。智能单元具备**可感知、可计算、可交互、可延展、自学习、自决策功能**。



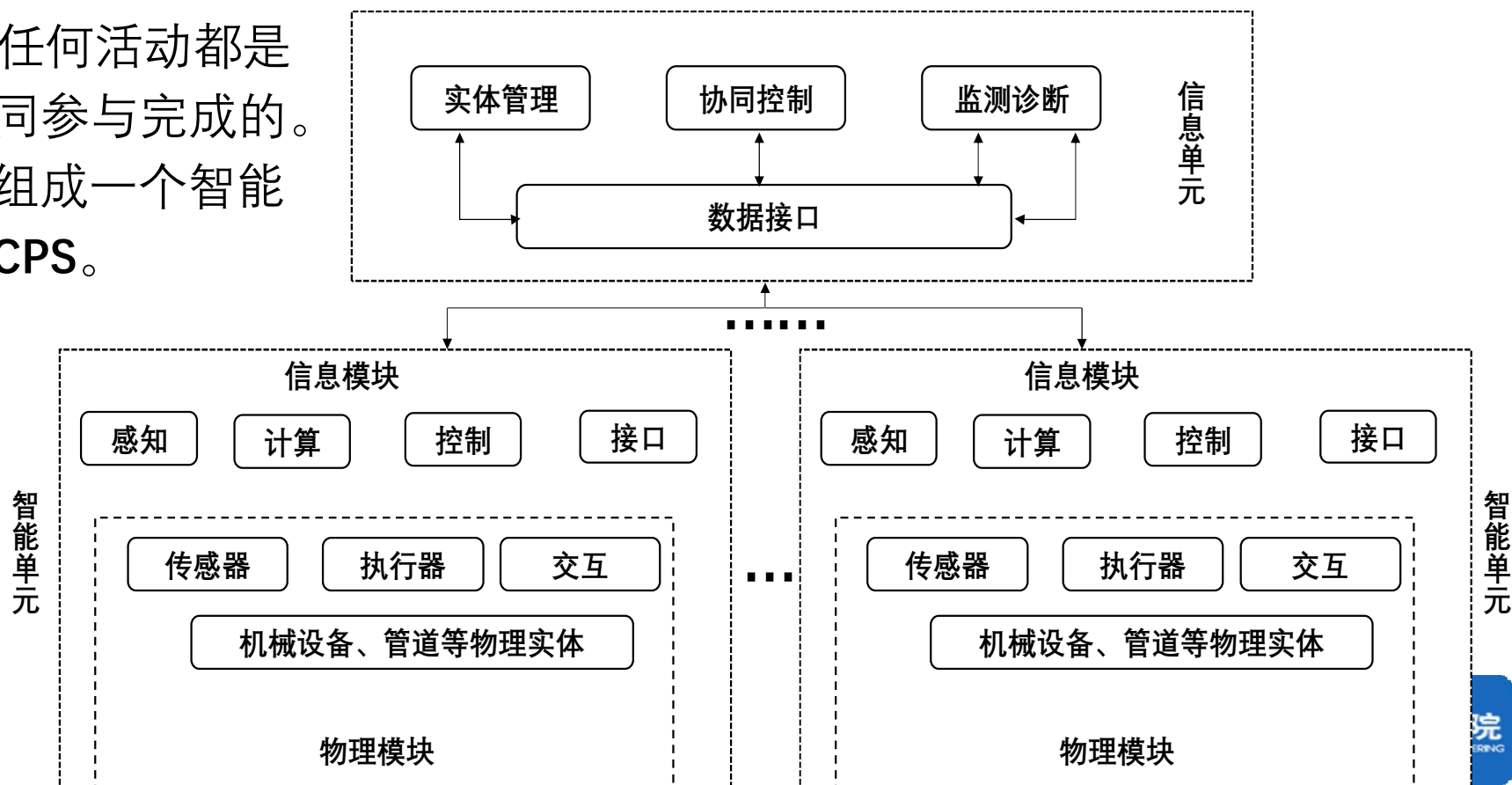


2. 基于CPS的智能制造系统基本概念

(1) 物理系统的概念

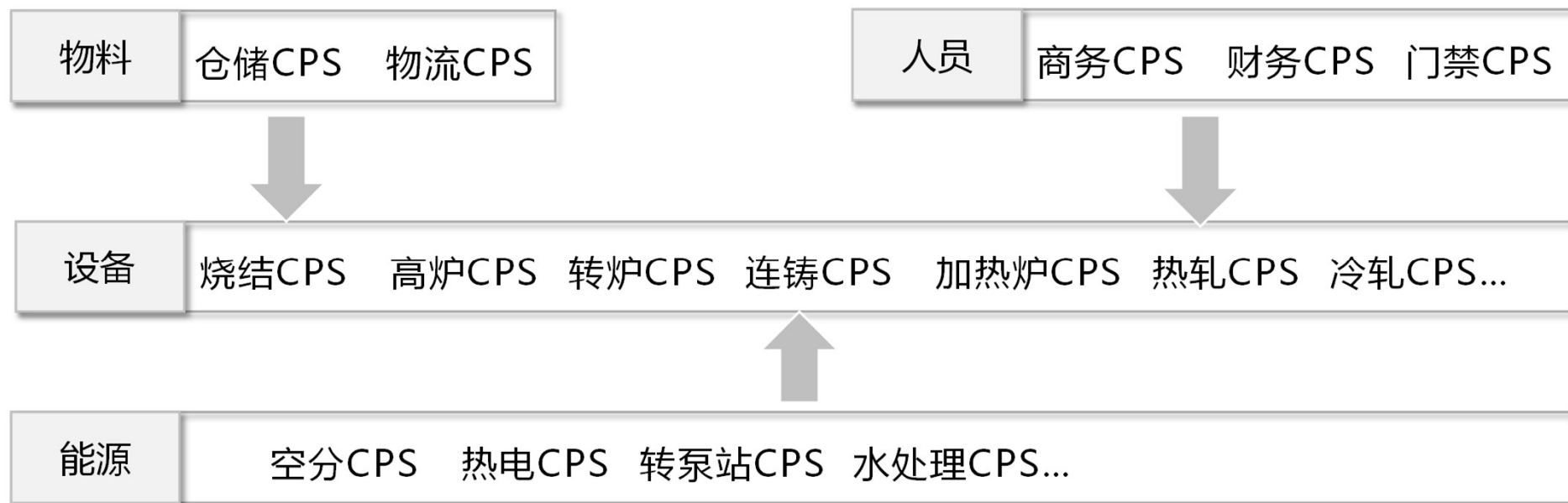
② 智能设备

在实际运行中，任何活动都是多个人、机、物共同参与完成的。多个智能单元一起组成一个智能设备，属于**系统级CPS**。





(1) 物理系统的概念



钢铁企业智能设备CPS的划分



(1) 物理系统的概念

物理系统的功能：

- ① 负责控制和协调生产设备能力，实现对生产的直接控制，针对生产控制级下达的生产目标，通过数据模型优化生产过程控制参数。
- ② 实现对设备的顺序控制、逻辑控制及简单的数学模型计算，并按照过程控制级的控制命令对设备进行相关参数的闭环控制。
- ③ 负责检测设备运行过程中的工艺参数，并根据基础自动化级指令对设备进行操作。执行器根据工作能源的不同可分为电动执行机构、液压执行机构和气动执行机构，如交直流电动机、液压缸、气缸等。



(2) 信息系统的概念

信息系统是整个企业智能制造CPS系统的灵魂，从企业的生产管理、运营管理，到对主生产流程的服务支持、对公司运营管理的保障，再到企业的总体经营、市场开发、战略决策，都是由信息系统来指挥完成的。在传统企业的信息化层级中，既包含了信息流的关系，也包含了业务流的关系，但究其实质是**业务流**的关系。

信息流完全没有了层与层之间的信息流动、存储，打破层级界限，从一体化生产管控、全产业链系统、工厂设备资产全生命周期等多维度构建组织管理功能出发进行设计，基于统一的大数据平台，统筹管理企业运营。



(3) 工厂数据中心的概念

工厂数据中心是智能制造的关键部分，主要作用是打通物理世界和信息世界，推动生产型制造向服务型制造转型。工厂数据中心是指围绕典型智能制造模式，从客户需求到销售、订单、计划、研发、设计、工艺、制造、采购、供应、库存、发货和交付、售后服务、运维、报废或回收再制造等整个产品全生命周期各个环节所产生的各类数据及相关技术和应用的总称。以产品数据为核心，极大延展了传统工业数据范围，同时还包括工业大数据、新一代人工智能相关技术和应用。



(4) 虚拟系统的概念

虚拟系统是智能制造体系中的重要组成部分，也称为**数字孪生系统**。它通过工厂数据中心与企业信息系统和物理系统连接，借助虚拟现实、可视化仿真、优化、数据分析等信息技术和人工智能技术实现产品制造过程及物流过程场景重现与优化、工艺和质量设计、生产计划和作业计划仿真和优化、产品质量分析和预测、能耗分析和预测，模拟产品全生命周期的各种活动。



- 一. 信息物理系统（CPS）的内涵
- 二. 基于CPS的智能制造系统体系架构与基本概念
- 三. 智能制造系统的单元级CPS
- 四. 智能制造系统的系统级 CPS
- 五. 智能制造系统的SoS级CPS



1. 基本概念

单元级是具有不可分割性的信息物理系统最小单元，可以是一个部件或一个产品。通过“一硬”和“一软”（如嵌入式软件）就可构成“感知-分析-决策-执行”的数据闭环，具备了可感知、可计算、可交互、可延展、自决策的功能。但对于复杂工业过程，单元级的CPS定义如果遵从上述定义给出，整个生产系统将出现更多级的CPS系统，造成逻辑复杂。为此，在前文中已提及，针对复杂工业过程智能制造，本书承继以往信息化分级的思想，将单元级CPS定义为符合生产工艺单元功能的设备系统或者符合生产管理单元功能的信息系统。这里定义企业CPS基本单元为**单元级CPS**，称为**智能设备**。

智能设备作为智能制造的前端，是一个在信息（Cyber）空间与物理（Physical）空间之间的虚实融合控制的载体。它基于数据共享实现数据的自动流动，构成**状态感知、实时分析、认知学习、科学决策、精准执行、健康维护**的闭环赋能体系，解决生产制造、应用服务过程中的复杂性和不确定性问题，提高资源配置效率，实现资源优化。



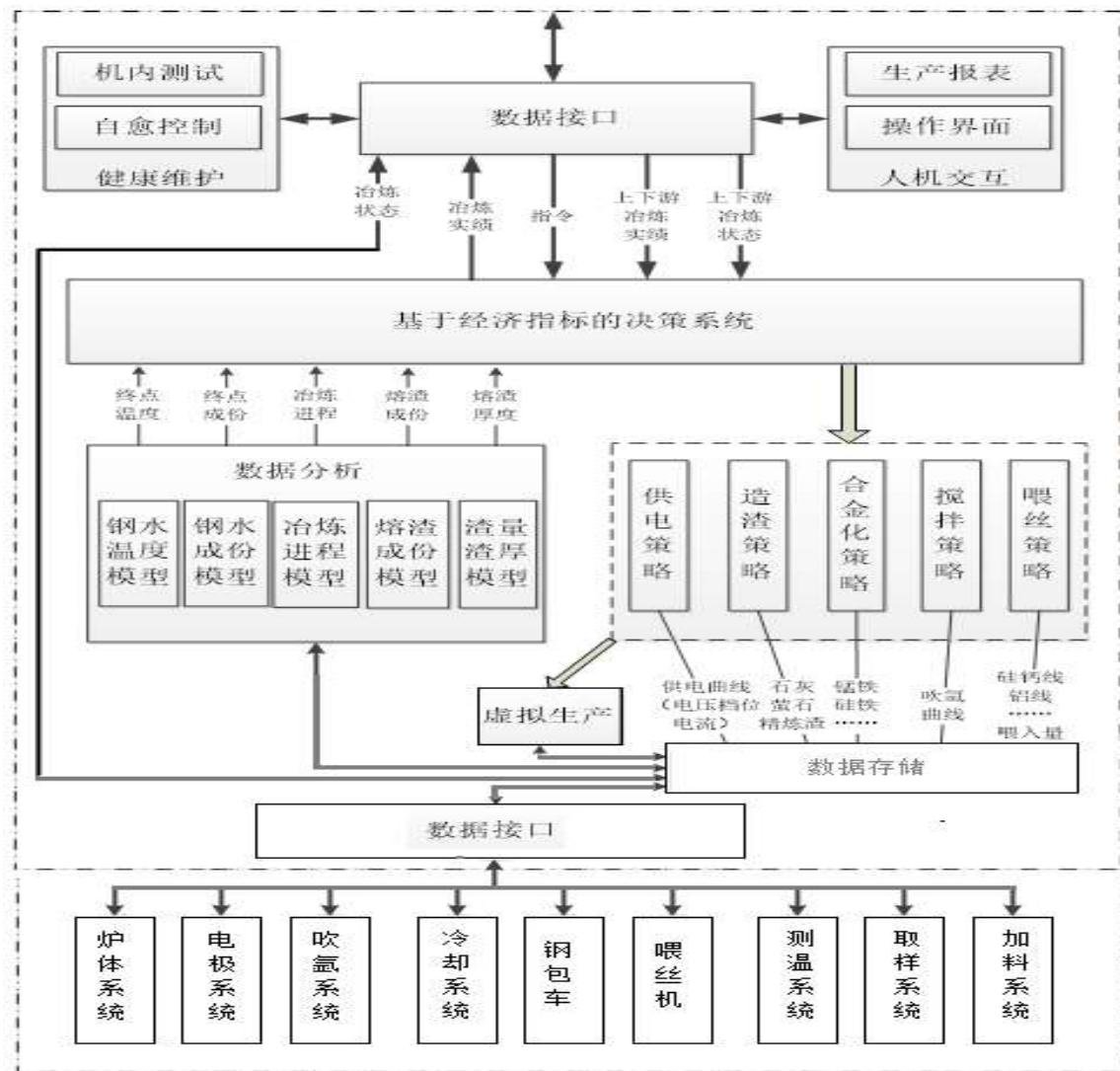
3. 智能设备核心技术

- 建模技术
- 控制技术
- 优化技术
- 故障诊断技术
- 通信技术
- 边缘计算技术
- 智能感知技术
- 自学习技术



4. 智能设备示例

例如在炼钢的精炼过程中，实际生产过程中是由**精炼炉体**、**电极加热**、**吹氩**、**喂丝**、**测温取样**等多个智能单元来实现的，是多个智能单元共同活动的结果，这些智能单元一起形成了一个系统，这里称之为智能设备。



信息单元

智能单元



- 一. 信息物理系统（CPS）的内涵
- 二. 基于CPS的智能制造系统体系架构与基本概念
- 三. 智能制造系统的单元级CPS
- 四. 智能制造系统的系统级 CPS
- 五. 智能制造系统的SoS级CPS



1. 基本概念

系统级CPS往往为厂级的设备总体，其生产最终产品可以做为销售品。无论如何，从产品角度分析是一种模糊的CPS分类方法，归其实质，CPS体层级的划分与所考虑的整体对象有关，可灵活处理。本课中针对企业所设计的系统级CPS为**厂级**

(生产线或流程级) **CPS**。具有如下功能：

- 物料管理功能
- 产品质量管控功能
- 流程协调优化功能
- 设备智能运维与管理功能

2. 物料管理功能

对于单元级CPS设备，物料管理相对简单，往往仅涉及控制层面的需求。而对于系统级CPS，则物料的供应、存储、使用等方面表现的是管理方面的问题，需要优化决策。将物料分为主要材料与辅助材料。主要材料是构成制成品最主要之部份，而辅助材料多半在配合主要材料之加工而附属于制品上。

物料管理是企业生产经营活动中一项最基本的不可缺少的活动。企业的物料管理的主要内容包括**物料需求，物料采购及库存管理与控制**三大部分。

2. 物料管理功能

- 通过用料申请计划、采购、仓储、保管、领用等活动，解决物料供需之间存在的时间、空间、数量、品种、规格以及价格和质量等方面的矛盾，衔接好生产中的各个环节，确保生产的持续稳定进行。
- 以关键流程为主干进行企业流程再造，从而实现对企业整体物流、业务流、信息流、资金流、控制流的有效集成，进而实现资源的最佳有效配置。
- 保证企业生产经营管理正常进行的前提下，最大限度地简化日常事务，降低原材料成本和运营成本，降低库存和占用资金，减少财务收支差错或延误。
- 具有丰富的监控、考核、管理功能，做到事先有计划，事中有控制，事后有核算。
- 采用实时动态的抛帐方式，建立业务和财务的一体化，自动生成会计凭证。



3. 产品质量管控功能

包括**作业技术和活动**，也就是包括**专业技术和管理技术**两个方面。围绕产品质量形成全过程的各个环节，对影响工作质量的人、机、料、法、环五大因素进行控制，并对质量活动的成果进行分阶段验证，以便及时发现问题，采取相应措施，防止不合格重复发生，尽可能地减少损失。

产品质量精准判定的核心模块包括**分类质量规则库、数字化质量评价方法、多样性工艺权值表、数据特征识别技术、规则机器学习**等。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/768013022136006045>