

# 数字孪生白皮书（2019年）

中国电子信息产业发展研究院

# 目录

一、数字孪生发展态势

二、数字孪生定义内涵

三、数字孪生应用场景

四、数字孪生未来展望

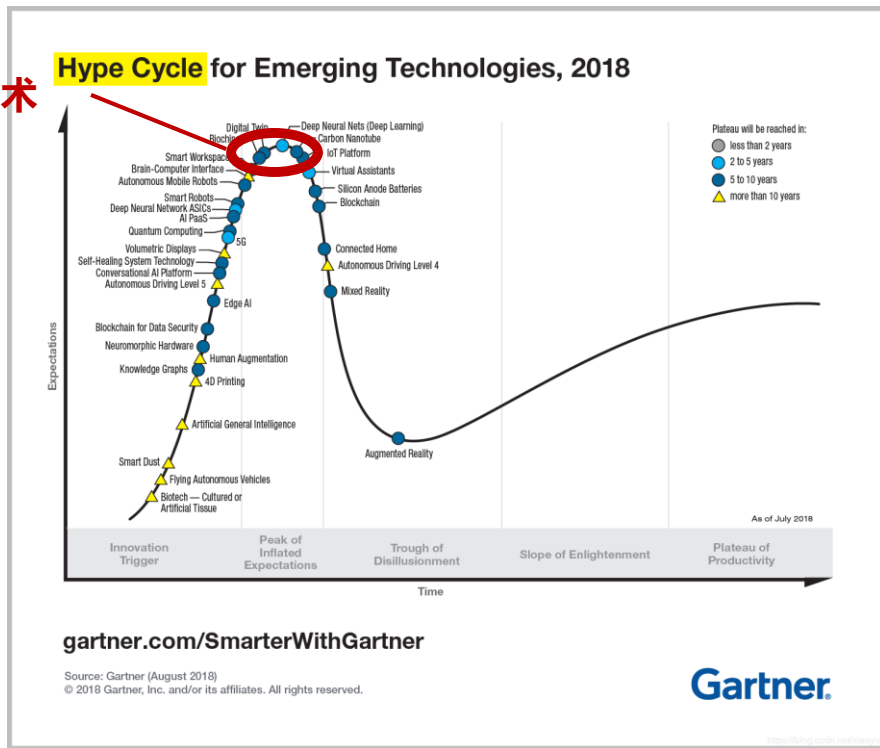
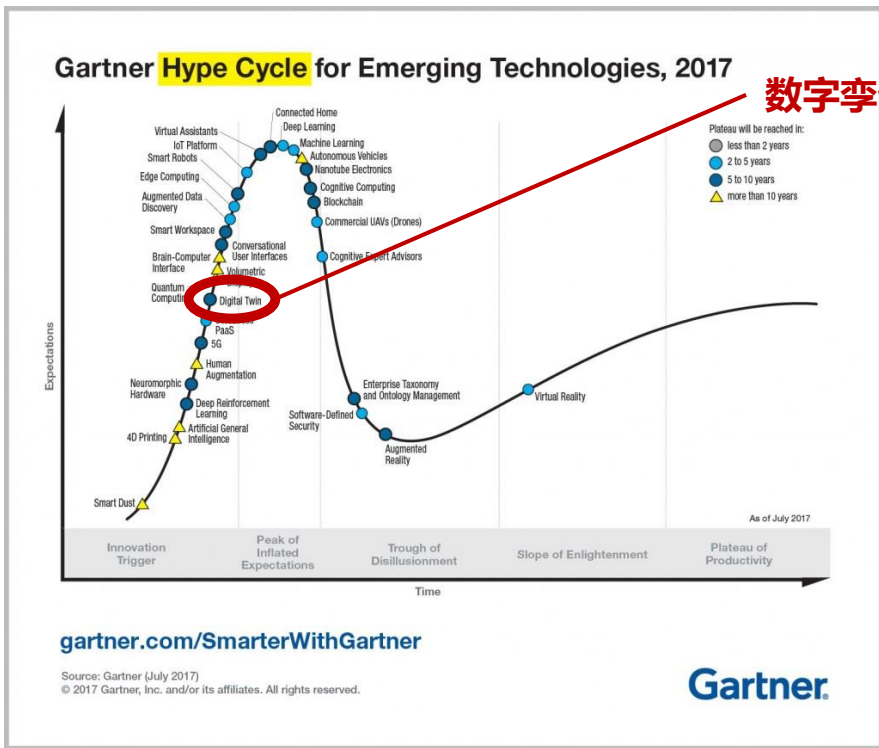
## 01

## 数字孪生发展态势

- 1.1 数字孪生正成为全球信息技术发展的新焦点
- 1.2 数字孪生正成为跨国企业业务布局的新方向
- 1.3 数字孪生正成为主要国家数字化转型的新抓手

# 1.1 数字孪生正成为全球信息技术发展的新焦点

- 2016-2018年，Gartner连续三年将数字孪生列为十大战略科技发展趋势。
- 2019年，Gartner认为数字孪生处于期望膨胀期顶峰，将在未来5年将产生破坏性创新。



## 1.2 数字孪生正成为跨国企业业务布局的新方向

	数字孪生	数字孪生+	数字孪生++
西门子公司	Digital Twin 数字孪生	Digital Twin P/P/P 数字孪生 产品/生产/绩效	Comprehensive Digital Twin 综合数字孪生
PTC公司	Digital Twin 数字孪生	Digital Twin +K System 数字孪生+知识体系	Digital Twin+AR 数字孪生+增强现实
达索公司	Virtual Twin 虚拟孪生	Product lifecycle Twin 产品全生命周期孪生	3DEXPERIENCE Twin 3DEXPERIENCE孪生
ESI公司	Physical-Based Virtual Twin 基于物理的虚拟孪生	Date-Driven Virtual Twin 数据驱动的虚拟孪生	Hybrid Twin 混合孪生

# 1.3 数字孪生正成为主要国家数字化转型的新抓手

➤ 美国工业互联网联盟将数字孪生作为工业互联网落地的核心和关键。

- 应用平台
- 数字孪生空间
- 模型平台
- 数据平台

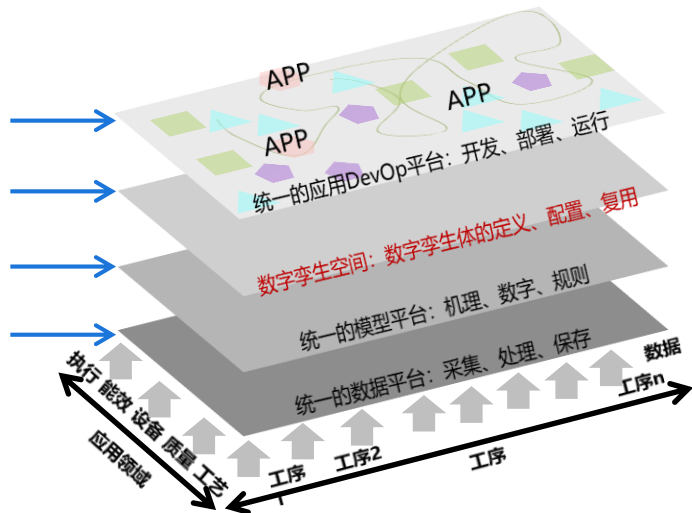
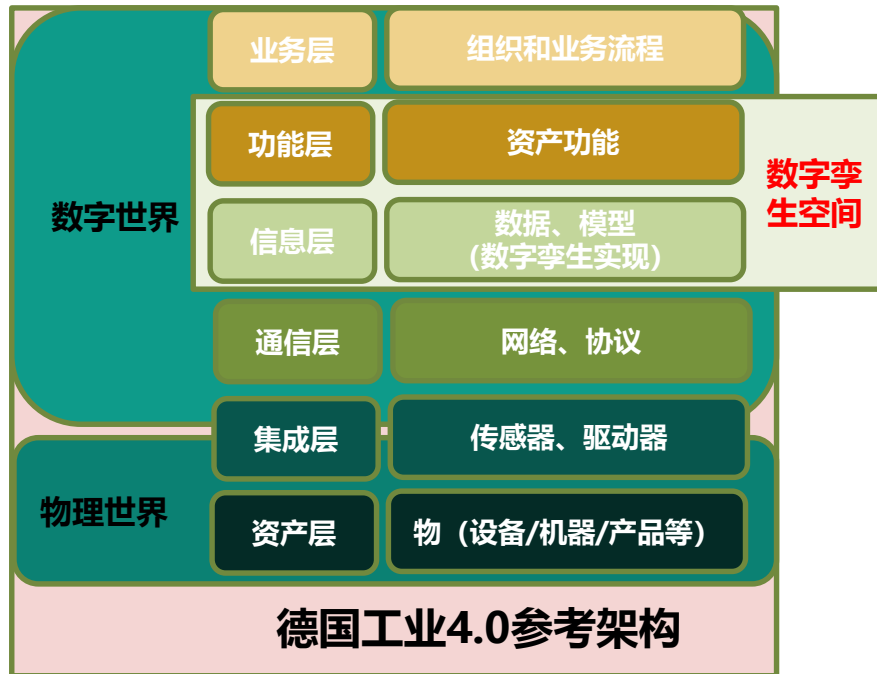


图 以数字孪生体框架为核心的工业互联网Paas系统

➤ 德国工业4.0参考架构将数字孪生作为重要内容。



# 1.3 数字孪生正成为主要国家数字化转型的新抓手

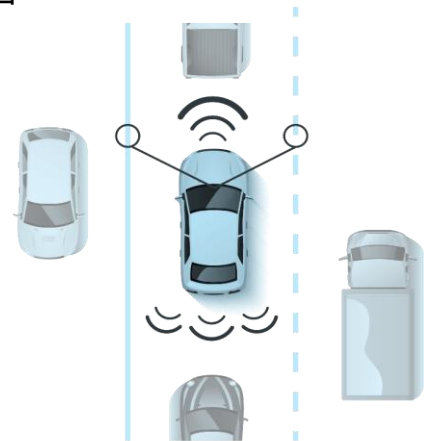


## 智慧城市

国家	建设目标
新加坡	虚拟新加坡
法国	数字孪生巴黎
加拿大	多伦多高科技社区
中国	雄安新区数字城市
中国	杭州城市大脑

国家	相关知名公司
中国	百度、华为、腾讯、阿里等
美国	特斯拉、福特等
日本	丰田、本田等
德国	西门子等

## 车联网



02

## 数字孪生内涵理解

2.1 数字孪生历程

2.4 数字孪生典型特征

2.2 数字孪生定义

2.5 数字孪生技术架构

2.3 数字孪生内涵



## 2.1 数字孪生历程：历经技术积累、概念提出、应用萌芽、快速发展四个阶段 CCiD 赛迪



21世纪之前 技术积累期

**CAx软件为数字孪生的出现奠定了技术基础**

- 1949年第一代CAM软件APT问世；
- 1969年NASA推出了第一代CAE软件COSMIC Nastran；
- 1973年第一代CAPP系统AuToPros问世；
- 1982年二维绘图标志性工具AutoCAD问世。

.....



2000-2015年 概念提出期

**美国军方机构开始提出数字孪生的相关概念**

- 2003年密歇根大学Michael Grieves教授首次提出数字孪生概念；
- 2010年美国军方提出数字线程；
- 2011年洛克希德·马丁提出数字织锦；
- 2012年NASA发布了包含数字孪生的两份技术路线图。

.....



2015-2020年 应用萌芽期

**工业软件巨头纷纷布局数字孪生业务**

- 西门子2017年正式发布了数字孪生体应用模型；
- PTC2017年推出基于数字孪生技术的物联网解决方案；
- 达索、GE、ESI等企业开始宣传和使用数字孪生技术。

.....



2020-未来 快速发展期

**数字孪生技术和产业生态都有望迎来爆发期**

- 数字孪生将加速与AI等新兴技术融合发展进一步应用。
- 数字孪生广泛应用于工业互联网、车联网、智慧城市等新型场景。

.....

**数字孪生因建模仿真技术而起、因传感技术而兴，并将随着新一代信息技术群体突破和融合发展而发展壮大。**

## 2.2 数字孪生定义

### ➤ 国外研究机构

---

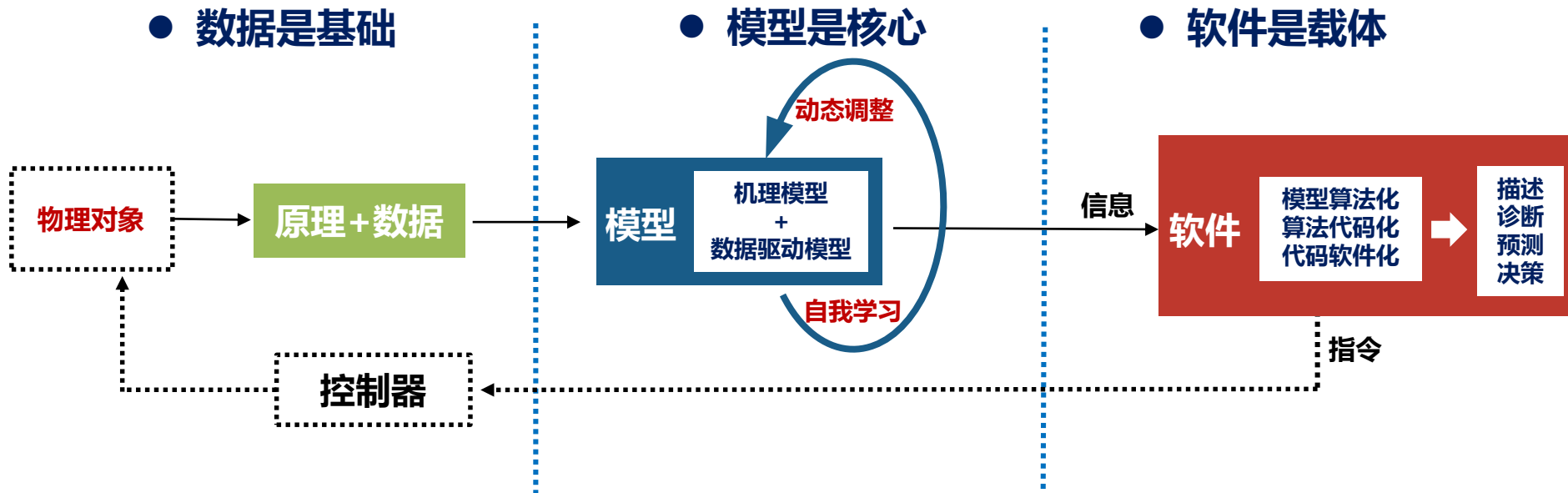
- **德勤**：数字孪生是以数字化的形式对某一物理实体过去和目前的行为或流程进行动态呈现。
- **埃森哲**：数字孪生是指物理产品在虚拟空间中的数字模型，包含了从产品构思到产品退市全生命周期的产品信息。
- **美国国防采办大学**：数字孪生是充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据，集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程，在虚拟空间中完成映射，从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程。
- **密歇根大学**：数字孪生是基于传感器所建立的某一物理实体的数字化模型，可模拟显示世界中的具体事物。

### ➤ 国内行业专家

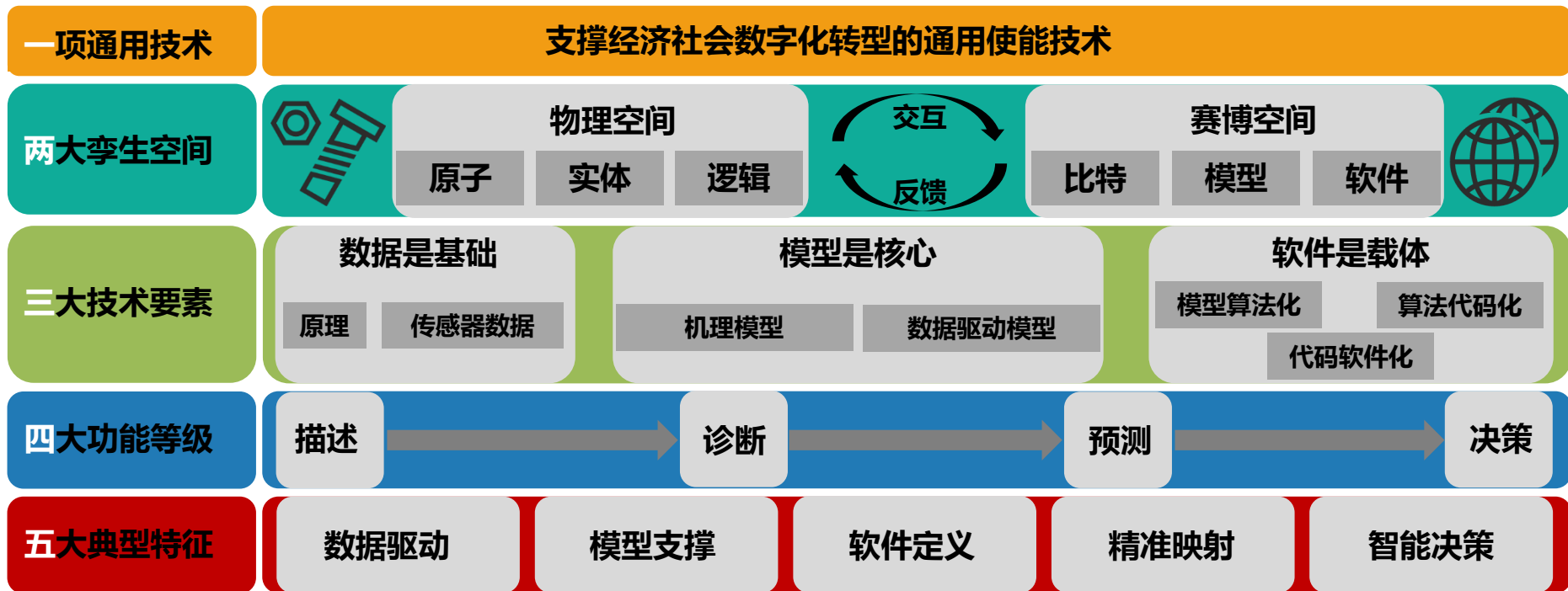
---

- **宁振波**：数字孪生是将物理对象以数字化方式在虚拟空间呈现，模拟其在现实环境中的行为特征。
- **赵敏**：数字孪生是指在数字虚体空间中所构建的虚拟事物，与物理实体空间中的实体事物所对应的、在形态和举止上都相像的虚实精确映射关系。
- **林诗万**：数字孪生是实体或逻辑对象在数字空间的全生命周期的动态复制体，可基于丰富的历史和实时数据、先进的算法模型实现对对象状态和行为高保真度的数字化表征、模拟试验和预测。
- **陶飞**：数字孪生以数字化的方式建立物理实体的多维、多时空尺度、多学科、多物理量的动态虚拟模型来仿真和刻画物理实体在真实环境中的属性、行为、规则等。

- 数字孪生是综合运用感知、计算、建模等信息技术，通过软件定义，对物理空间进行**描述、诊断、预测、决策**，进而实现物理空间与赛博空间的交互映射。



## 2.3 数字孪生内涵：涵盖“12345”五大内容



## 2.4 数字孪生典型特征：数据驱动、模型支撑、软件定义、精准映射、智能决策

### 数据驱动

- 数字孪生的本质是在比特的汪洋中重构原子的运行轨道，以数据的流动实现物理世界的资源优化。

### 模型支撑

- 数字孪生的核心是面向物理实体和逻辑对象建立机理模型或数据驱动模型，形成物理空间在赛博空间的虚实交互。

### 软件定义

- 数字孪生的关键是将模型代码化、标准化，以软件的形式动态模拟或监测物理空间的真实状态、行为和规则。

### 精准映射

- 通过感知、建模、软件等技术，实现物理空间在赛博空间的全面呈现、精准表达和动态监测。

### 智能决策

- 未来数字孪生将融合人工智能等技术，实现物理空间和赛博空间的虚实互动、辅助决策和持续优化。

## 2.5 数字孪生技术架构：分为物理层、数据层、模型层、功能层



# (1) 应用视角：包括智能工厂、车联网等应用场景

数字孪生 应用场景	智能工厂	车联网	智慧城市	智慧建筑	智慧医疗
核心价值	<ul style="list-style-type: none"><li>➢ 实现产品迭代式创新</li><li>➢ 实现生产制造全过程数字化管理</li><li>➢ 开展设备预测性维护</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➢ 驾驶辅助</li><li>➢ 部分自动驾驶</li><li>➢ 有条件自动驾驶</li><li>➢ 高度自动驾驶</li><li>➢ 完全自动驾驶</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➢ 绘制“城市画像”</li><li>➢ 实现城市规划“一张图”</li><li>➢ 实现城市难题“一眼明”</li><li>➢ 实现城市治理“一盘棋”</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➢ 打造虚拟建筑</li><li>➢ 施工优化</li><li>➢ 智慧家居</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➢ 人体运行机理模拟仿真</li><li>➢ 医疗设备远程管理</li><li>➢ 加快科研创新向临床实践的转化</li></ul>

## (2) 功能视角：包括描述、诊断、预测、决策四个能力等级



物理世界

Level 1 描述

通过感知设备采集到的数据，对物理实体各要素进行监测和动态描述。

Level 2 诊断

分析历史数据，检查功能、性能变化的原因。

Level 3 预测

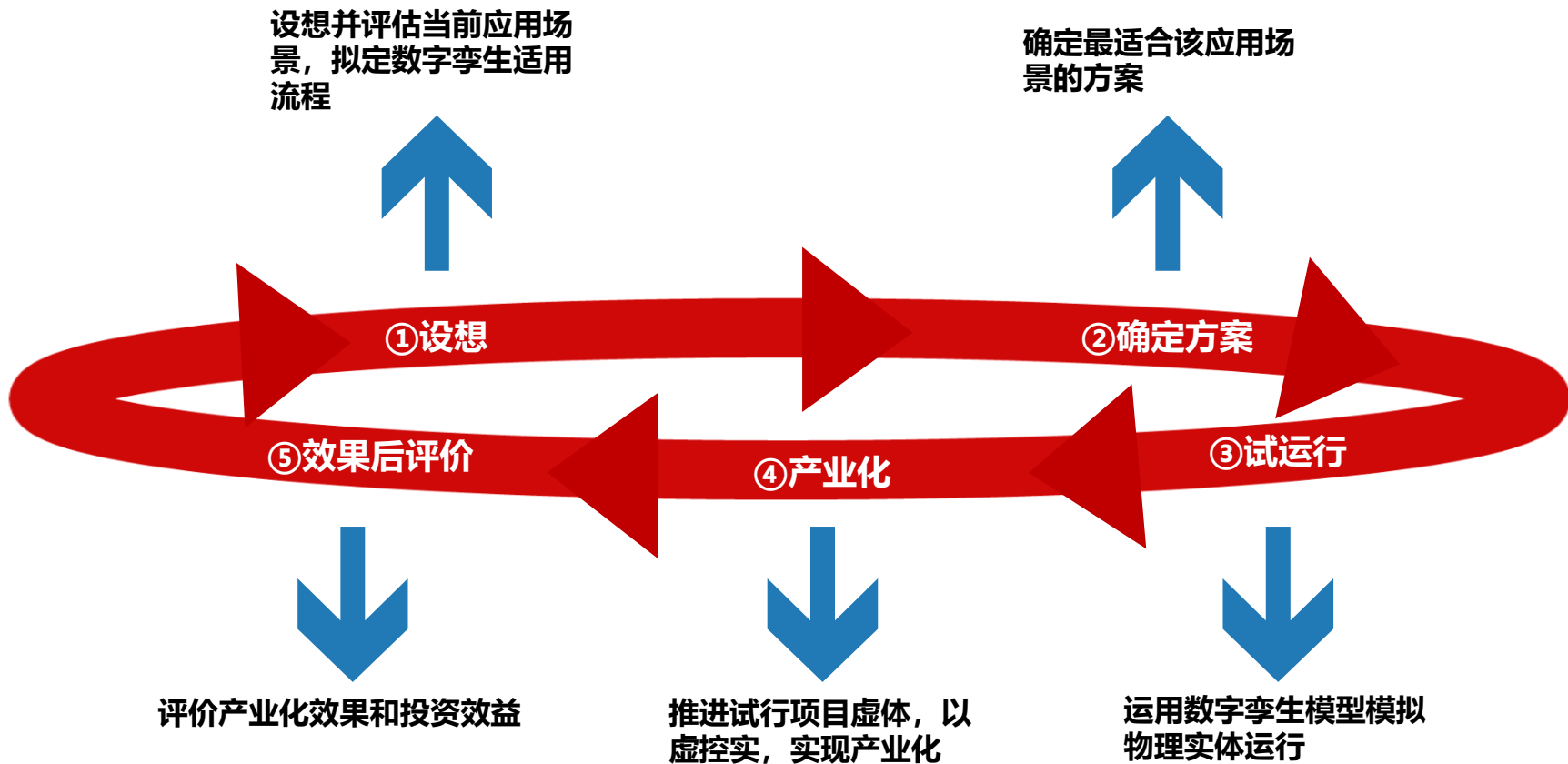
揭示各类模式的关系，预测未来。

Level 4 决策

在分析过去和预测未来的基础上，对行为进行指导。



### (3) 部署视角：包括设想、确定方案、试运行、产业化、效果后评价五个阶段



03

## 数字孪生应用场景

3.1 数字化设计

3.2 虚拟工厂

3.3 设备预测性维护

3.4 智慧城市

3.5 车联网

3.6 智慧医疗

### 3.1 数字化设计：数字孪生+产品创新

➢ 达索、PTC、波音等公司综合运用数字孪生技术打造**产品设计数字孪生体**，在赛博空间进行体系化仿真，实现**反馈式设计、迭代式创新和持续性优化**。目前，在**汽车、轮船、航空航天、精密装备制造**等领域已普遍开展原型设计、工艺设计、工程设计、数字样机等形式的数字化设计实践。

#### 应用层

人机交互模拟

沉浸式工艺设计

工业设计优化

需求设计验证

客户深度体验

虚拟制造

设计协同辅助

生产工程预测

#### 模型层

集成服务接口

第一性原理

物理几何模型

数据

优化迭代

数模验证模型

试验仿真模型

产品数字模型

客户

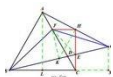
生产加工模型

生产部门

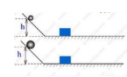
动态数据反馈

#### 数据层

几何数据



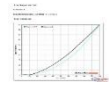
原理数据



现场设备数据



历史设计数据



工艺数据



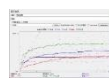
材料数据



现场环境数据



历史测试数据



- 多维动态的数字环境
- 精确执行的数字模型
- 同步交付的数字产品

## 3.2 虚拟工厂：数字孪生+生产制造全过程管理

➢ 西门子、洛马等国外公司，以及华龙迅达、东方国信、石化盈科等国内公司，在赛博空间打造映射物理空间的**虚拟车间、数字工厂**，推动物理实体与数字虚体之间数据双向动态交互，根据赛博空间的变化及时调整生产工艺、优化生产参数，提高生产效率。

### 应用层

智能计划排产

物料配给管理

生产参数优化

库存动态管控

设备维护管理

故障预测维修

产品质量追踪

协同工艺规划

人员安排管控

生产环境管控

安全可靠保障

能效优化分析

产品设计

生产规划

生产制造

经营管理

产品服务

### 模型层

离散行业

设计制造  
协同模型

生产管理  
优化模型

设备健康  
管理模型

产品增值  
服务模型

制造能力  
交易模型

流程行业

生产过程状  
态监测模型

质量控制  
模型

节能减排  
模型

工艺优化  
模型

故障诊断  
模型

多协议兼容+边缘数据采集

### 数据层



员工数据



机器数据



物料数据



规则数据



环境数据

### 3.3 设备预测性维护：数字孪生+设备管理

➢ GE、空客等公司开发设备**数字孪生体**并与物理实体同步交付，实现了设备全生命周期数字化管理，同时依托现场数据采集与数字孪生体分析，提供**产品故障分析、寿命预测、远程管理**等增值服务，提升用户体验，降低运维成本，强化企业核心竞争力。

#### 应用层

设备检测

异常报警

寿命预测

维修规划

备件管理

健康评估

故障定位

故障预警

远程调度

增值服务

#### 模型层

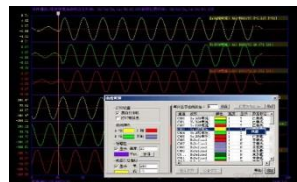
状态监测模型

远程诊断模型

故障预测模型

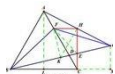
健康管理模型

学习提升模型



#### 数据层

几何数据



功能数据



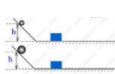
现场设备数据



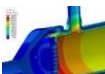
现场环境数据



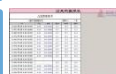
物理数据



工艺数据



历史状态数据



历史维护数据



### 3.4 智慧城市：数字孪生+城市运行管理

➤ 通过建设**城市数字孪生体**，以定量与定性结合的形式，在数字世界推演天气环境、基础设施、人口土地、产业交通等要素的交互运行，绘制“**城市画像**”，支撑决策者在物理世界实现**城市规划“一张图”**、**城市难题“一眼明”**、**城市治理“一盘棋”**的综合效益最优化布局。

应用层

智能安防

应急预案

市政管理

环境监测

智能交通

智能规划

实时模型呈现、渲染、计算、分析

城市分层建模

模型单体化

单体语义化

地形层

建筑层

道路单体库

建筑单体库

几何结构语义

地表层

地下层

植被单体库

基础物件库

业务属性语义

动态+静态多源数据加载

数据层

地理信息

人口信息

基础设施信息

天气信息

交通信息

建筑信息

地表 地下

数量 比例

水 电 煤

温度 气压

道路 汽车

房屋 景观

空中 水域

年龄 籍贯

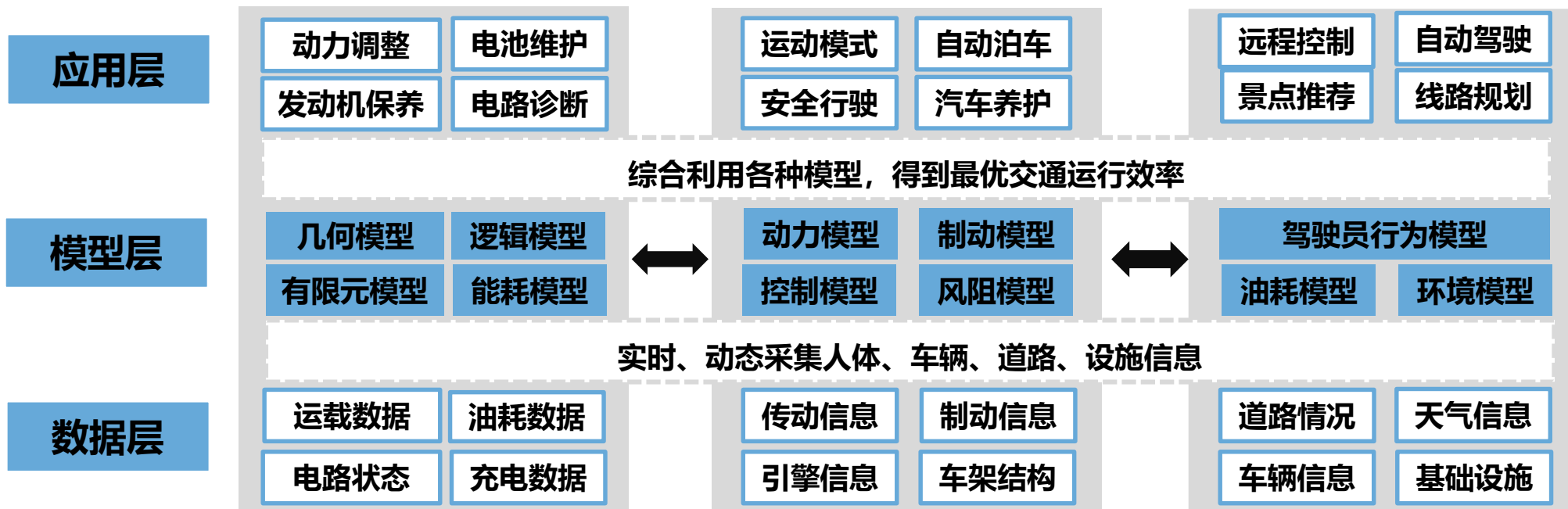
热 气 网

湿度 污染

飞机 轮船

设备 设施

➤ 以百度、谷歌、腾讯等为代表的企业，积极探索数字孪生技术在车联网中的应用，有效实现了车与人、车、路、设施的全面连接，极大推动了**自动驾驶智能化水平、交通安全保障水平和公共交通服务效率**的提升。



### 3.6 智慧医疗：数字孪生+医疗服务

➤ 达索、海信等公司尝试将数字孪生与医疗服务相结合，实现人体运行机理和医疗设备的动态监测、模拟和仿真，可**加快科研创新向临床实践的转化速度、提高医疗诊断效率、优化医疗设备质控管理。**







## 数字孪生未来展望

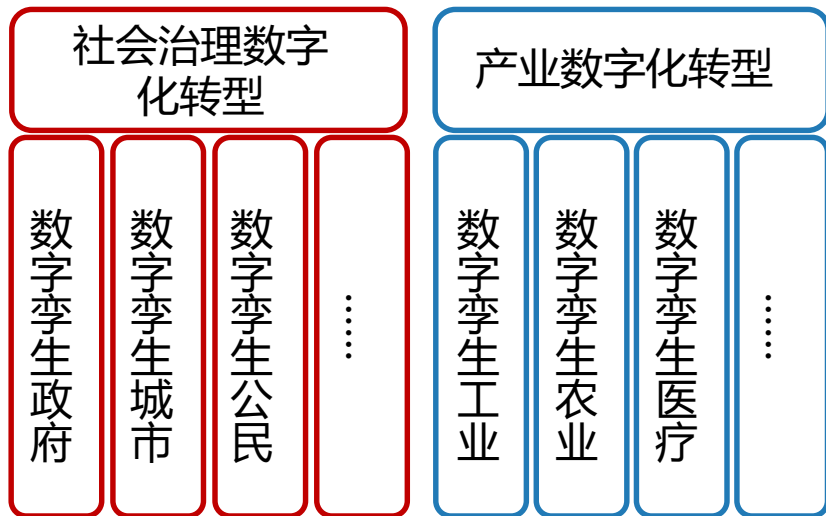
## 从宏观看

数字孪生不仅仅是一项通用使能技术，也将会是数字社会人类认识和改造世界的方法论。



## 从中观看

数字孪生将成为支撑社会治理和产业数字化转型的发展范式。



## 从微观看

数字孪生落地的关键是“数据+模型”，亟需分领域、分行业编制数字孪生模型全景图谱。



# 总结与思考

## 阶段性

数字孪生的出现不是概念炒作，而是信息化发展到一定程度的必然性结果，数字孪生正成为人类解构、描述、认识物理世界的新型工具。

## 长期性

数字孪生是一套支撑数字化转型的综合技术体系，技术在发展，应用在深化，体系在演进，其应用推广也是一个动态的、演进的、长期的过程。

## 艰巨性

数字孪生=数据+模型+软件，我国在数据采集、模型积累、软件开发等方面存在诸多短板，成为制约数字孪生发展的瓶颈。

## 突破口

当前，要坚持需求牵引和价值导向，以需求迫切、基础较好、潜力巨大的应用场景为突破口，在重点领域、重点环节率先实现突破，树立一批典型模式和样板。

# 编写组成员

张洪国

姚 磊

袁晓庆

安 琳

周 峰

宋颖昌

许亚倩

王宇霞

徐 靖

孙 刚

张 朝

管 桐

# 致谢

CCiD 赛迪



宁振波  
中国航空工业集团公司信息  
信息技术中心原首席顾问



赵敏  
走向智能研究院执行院长



王湘念  
中国航空制造技术研究院  
副总工程师



郎燕  
PTC发展战略总监



林雪萍  
北京联讯动力咨询公司总经理



朱铎先  
北京兰光创新科技有限公司董事长



赵宏博  
北京东方国信科技股份有限公司  
工业互联网研究院院长

谢谢!