



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

工业数字孪生白皮书

(征求意见稿)

工业互联网产业联盟 (AII)

2020年4月

版权声明

本白皮书版权属于工业互联网产业联盟，并受法律保护。转载、摘编或利用其他方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：工业互联网产业联盟”。违反上述声明者，本院将追究其相关法律责任。

1

背景及内涵

2

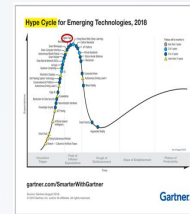
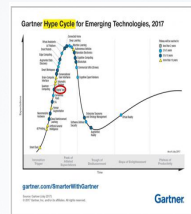
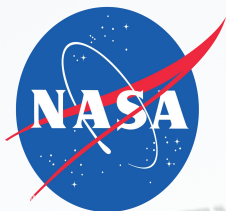
技术体系及关键技术

3

产业布局

3

应用趋势



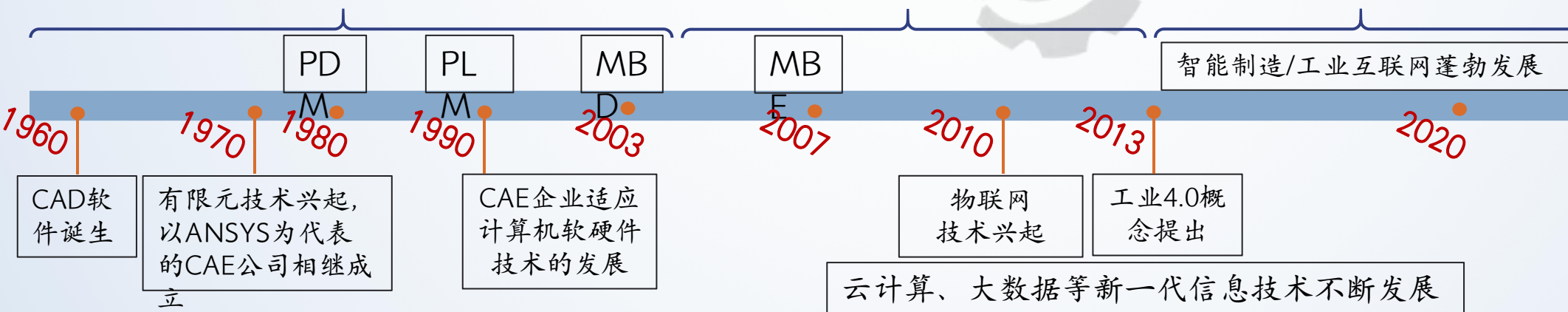
数字孪生
发展历程



1、PLM、仿真等工业软件为数字孪生概念提出奠定基础

2、航天行业最早建设基于模型的系统工程，伴随物联网的发展，数字孪生得到初步应用

3、工业互联网在多行业的应用普及，为数字孪生应用范围拓展提供保障



数字化信息
技术对工业
的变革

数字化映射



工业数字孪生概念视图

1

工业数字孪生能够在数字空间构建与物理对象产品、生产和业务一一映射的产品孪生体、生产孪生体和组织孪生体

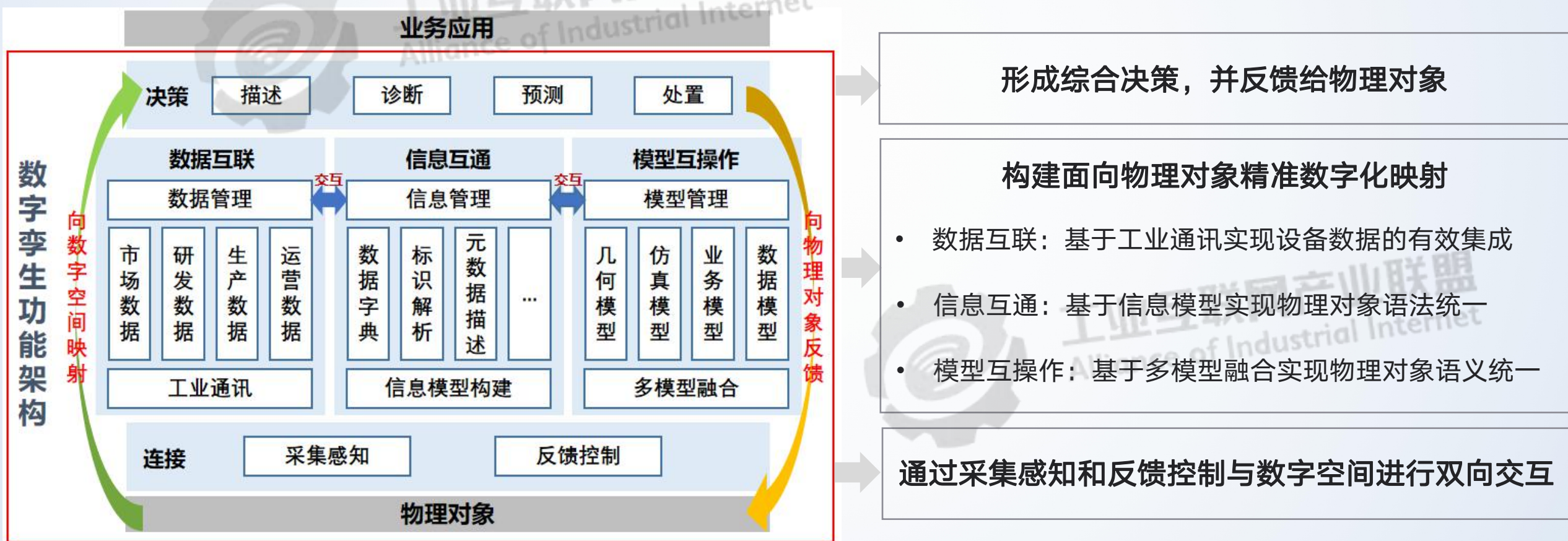
2

孪生体的构建需要采集各要素数据、构建各类型模型，并进行数据、模型集成融合

3

若满足孪生体与物理实体同步映射，需充分发挥数字线程作为孪生体和物理实体间数据/模型传递的双向通道作用

定义：工业数字孪生是以**数据与模型的集成融合为核心的新模式**，通过在数字空间实时构建物理对象（包括资产、行为、过程等）的**精准数字化映射**，基于分析预测**形成最佳综合决策**，实现工业全业务流程的**闭环优化**。





核心价值

具体价值



低成本试错

在虚拟空间上对物理世界的行为进行模拟验证，既降低工厂实际开工发生的停机率，又降低传统物理调试支付的大量开销

智能化决策

当工厂或产品运行突然发生意外状况时，能够将IOT实时数据、大数据分析和仿真模拟充分结合，预测未来可能发生各种情况，进而做出最佳决策

高效率创新

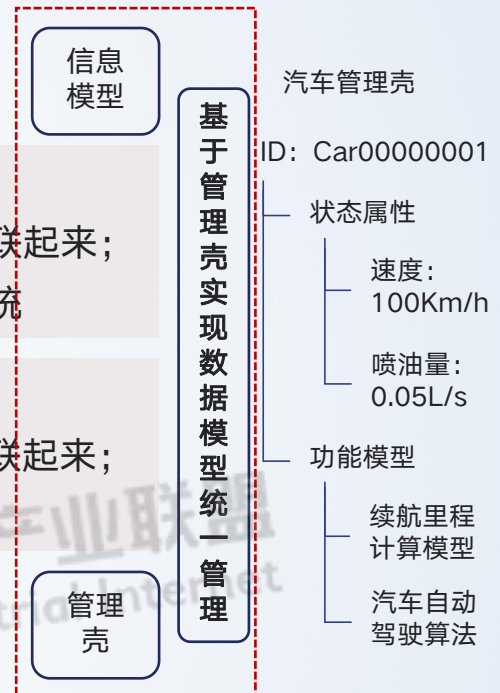
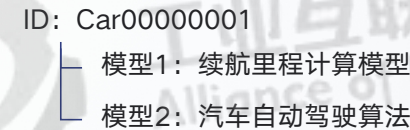
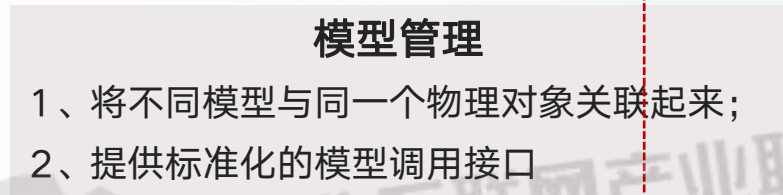
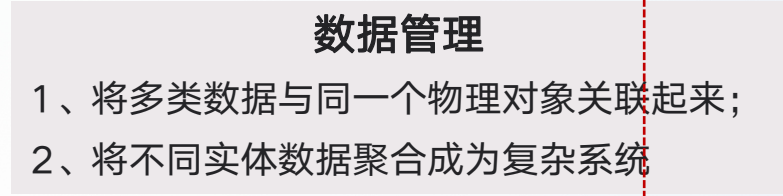
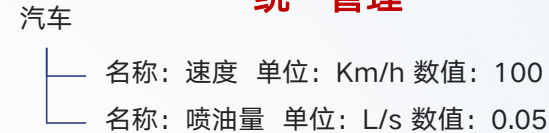
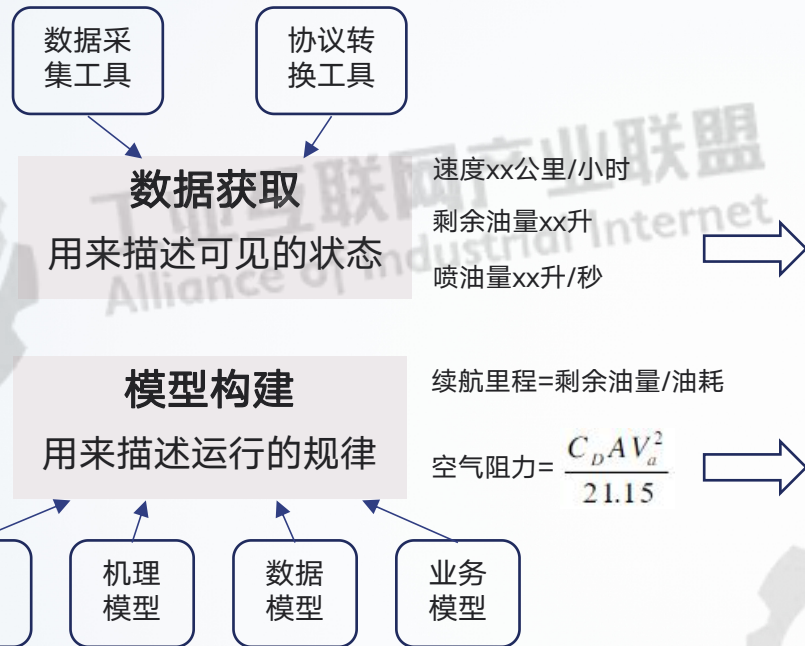
通过对产品生命周期运行情况的监测，不断积累产品全生命周期运行规律，进而不断提升产品创新水平，缩短产品研发周期

物理空间

虚拟空间

Step1: 将物理实体映射到虚拟空间

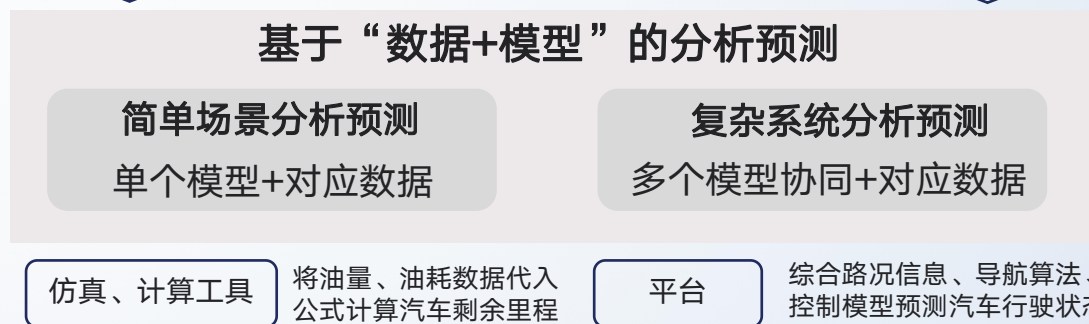
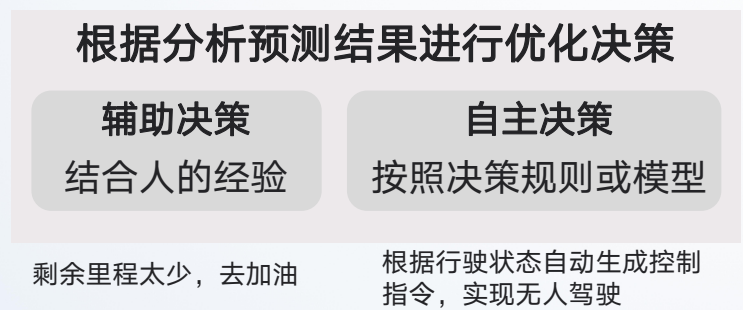
管理壳能够兼容信息模型进而实现数据和模型的统一管理

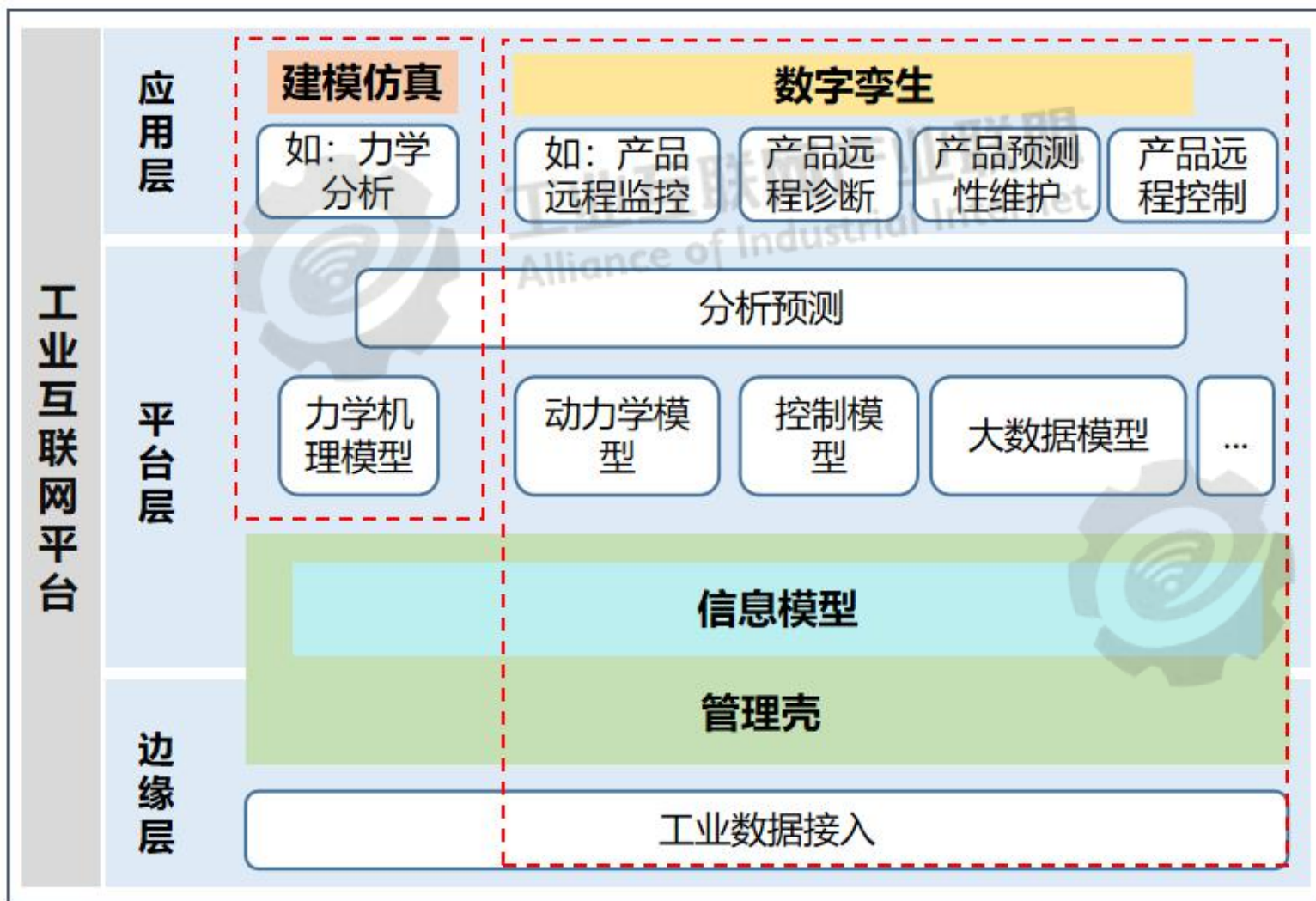


Step4: 实现对物理实体的最终优化

Step3: 形成优化决策指令

Step2: 在虚拟空间分析预测物理实体状态





□ 工业互联网平台

开展数字孪生的关键载体，集成信息模型、管理壳、仿真软件等工具，沉淀复用各类模型

□ 建模仿真

运用软件工具，构建模型，开展仿真分析，通常不强调模型与真实数据实时交互

□ 数字孪生

本质是对建模仿真的拓展和深化，实时采集数据和仿真分析，在信息模型、管理壳支撑下实现数据、模型深度融合

□ 信息模型

定义数据语法、语义，支撑进行数据管理，构建数字孪生工具之一

□ 管理壳

管理壳中可集成设备ID和信息模型，提供与工业设备一一对应的标识、数据信息与功能模型统一管理工具

解决单领域建模结果不完整问题

传统仿真模拟存在很多前提假设，忽略了很多关联影响因素

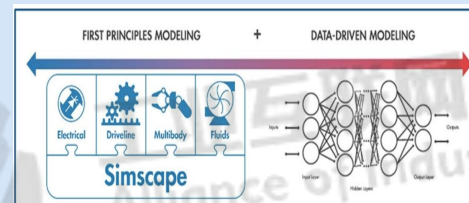


数字孪生基于多领域模型的集成融合功能,支撑构建更全面、更复杂的数字孪生体

模型更加
多元化和
精准化

解决理论建模结果不精准问题

一些模型的机理比较复杂，无法通过理论研究直接推导



数字孪生能够利用人工智能技术绕过机理，并与经验模型结合，形成高保真的综合模型

数据更加
实时化

结合物理世界实时数据进行虚实互动

传统仿真仅在数字空间进行离线仿真，无法与真实世界进行数据交互



数字孪生能够实现实时物理世界数据驱动的在线仿真，真正实现虚实映射

复杂工业系统通常是由不同子系统组合而成，而子系统则又是各类基础零部件的组合。与之类似，数字孪生也是可组合的，复杂系统数字孪生能够基于已有的零部件或子系统数字孪生来进行构建。

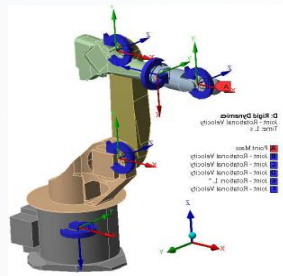
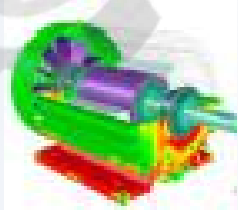
Example

电机控制、分析模型和实时运行数据，形成电机数字孪生

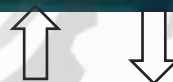
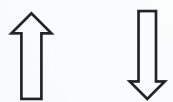
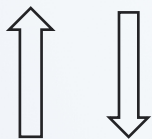
基于电机模型和实时数据，叠加本体、减速器等关键部件的模型和数据，构建整个机器人数字孪生

将电机、机器人、产线等不同数字孪生进行集成，并定义不同数字孪生之间的相互关系，补充完善相关模型及数据，以实现复杂工厂数字孪生

数字孪生



物理对象



单元级

系统级

系统之系统级

可组合性的需求

- 标准化接口
- 功能性能规范
- 产品及其数字孪生的共同交付

可组合性的好处

- 降低数字孪生应用门槛
- 提升数字孪生构建效率

为了实现全生命周期的优化提升，应该从物理对象的设计阶段就开始构建数字孪生，并在生产、运营和服务等不同阶段，根据实际应用需求来持续地对数字孪生进行动态更新



设计数字孪生

构建设计模型



产品



定义产品属性和设计参数



生产数字孪生

从设计模型转化为工艺模型



蕴含质量追溯数据



运营数字孪生

叠加业务逻辑模型和控制优化模型

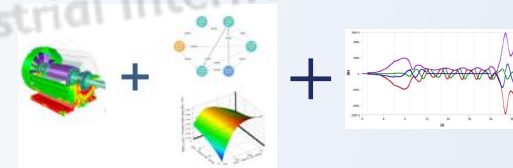


集成实时状态数据



服务数字孪生

构建预测分析模型

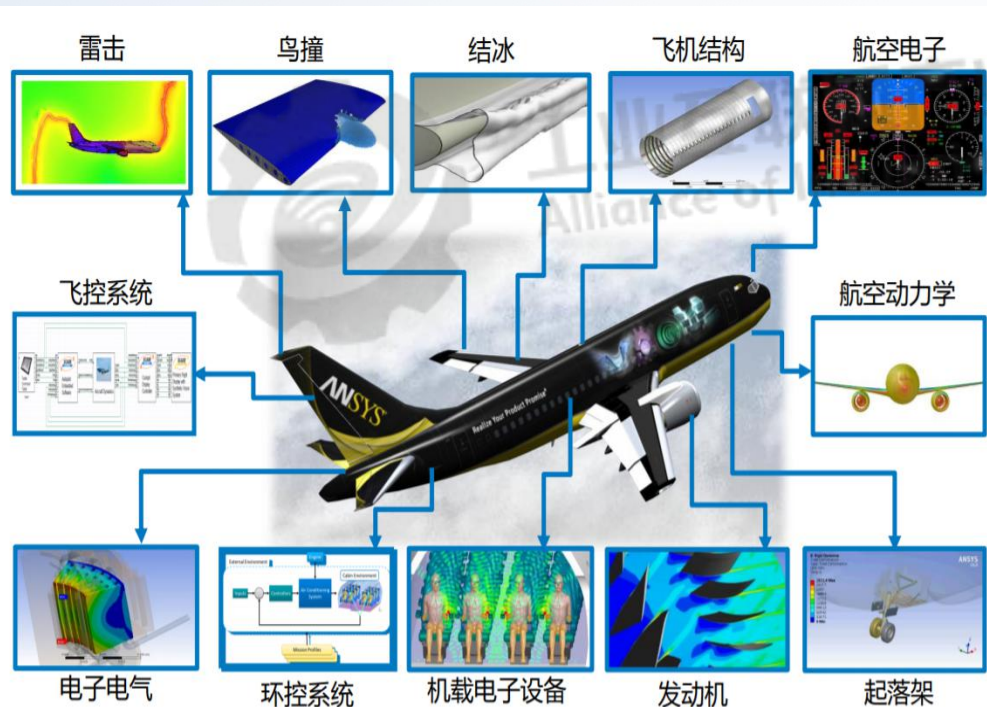


基于实时数据和历史数据开展分析

全生命周期的模型传递与数据集成

Example:

面向飞机的数字孪生体



数字孪生体并不要求涵盖的每一个模型都是全新构建的，它更强调将存在于不同业务部门的同一对象模型进行整合，更全面更准确的描述物理对象的运行规律

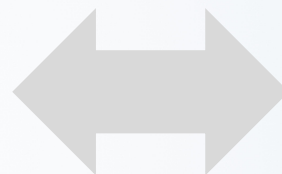
1、数字孪生通常不是由一个模型表示，而是由多个模型组合而成

不同对象模型

- 起落架
- 发动机
- 机身
- 尾翼
-

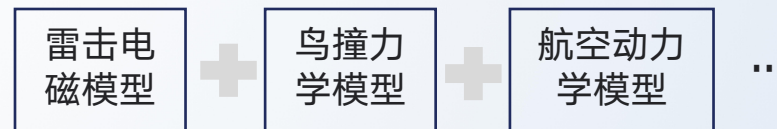
不同类型模型

- 力学模型
- 动力学模型
- 电子电气模型
- 控制模型
-



2、数字孪生能够灵活抽取、组合模型，实现在不同阶段及场景的有效应用

飞机安全设计



飞机远程管控



飞机预测性维护



1

背景及内涵

2

技术体系及关键技术

3

产业布局

3

应用趋势

数字孪生技术体系



□ 数字孪生是一系列技术的集成融合创新应用

□ 技术体系包含**基础和核心**两类技术，以及**感知控制、数据集成、建模分析、人机交互**四大领域

□ 数字线程、模型融合、模型修正、管理壳是驱动数字孪生技术体系中的核心

- 数字线程——通过跨业务、跨流程全生命周期数据集成实现数字孪生的虚实交互
- 模型融合——通过不同领域模型集成构建更全面更复杂的数字孪生
- 模型修正——通过模型参数的调整实现数字孪生的动态更新
- 管理壳——提供数字孪生基础管理环境，涵盖标识解析、数据管理、模型管理、工业通讯等功能，跨数据与模型应用



传感器向微型化发展，能够被集成到智能产品之中，实现更深层次的数据感知

■ 微型化传感器尺寸可达到毫米级，甚至更小

村田SCA3300系列三轴加速度传感器外形尺寸为**7.6×8.6×3.3mm**，封装在预成型的双扁平引线SMD外壳中。



■ 传感器微型化后便可嵌入到零部件中，准确采集零部件数据

GE研发**嵌入式腐蚀传感器**，并嵌入到压缩机内部，能够实时显示腐蚀速率



多类传感能力集成至单个传感模块，支撑实现更丰富的数据感知获取

■ 微机电系统（MEMS）正不断整合传多类传感器功能

研发的LIS2DTW12产品**将3轴MEMS加速度计与温度传感器集成**，实现更丰富传感功能，更低的功耗



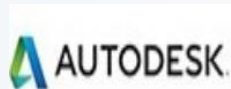
■ 多传感器融合技术基于多传感数据融合分析提升决策水平

第一款L3自动驾驶汽车**奥迪A8**的驾驶传感器搭载了**7种类型的传感器**，包含**毫米波雷达、激光雷达、超声波雷达等**，保证汽车决策的快速性和准确性



未来，微型传感器可直接嵌入到智能产品，同时单个传感器又能采集多类数据，这将大大支撑数字孪生获取数据的数量和深度，提升建模精度。

增量产品：基于AI的创成式设计工具提升几何设计效率



利用创成式设计帮助通用汽车设计座椅支架，基于AI算法优化产生了**超过150种有效的设计选项**，新设计比原来的部件**轻40%，强20%**

存量产品：基于三维扫描建模工具实现自动化几何建模

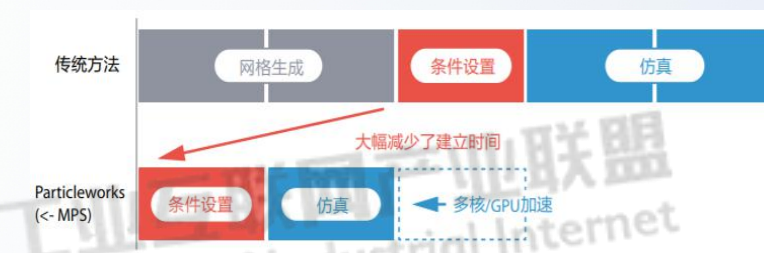


杭汽轮通过三维扫描构建几何建模，与平台标准机理模型对比，实现每只叶片的检测试验从**2-3天降低至3-5分钟**

仿真工具通过融入无网格划分功能降低仿真时间



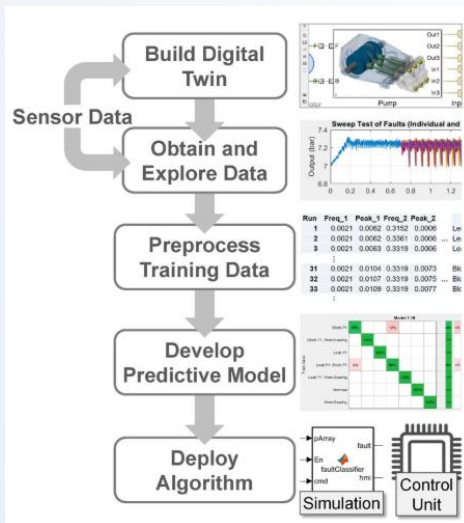
Particleworks 直接从 CAD 软件中导入的几何模型，并继续进行分析条件的设置和计算，**无需使用传统生成网格方式**



Altair SimSolid基于无网格计算优化求解速度，消除了传统FEA中几何结构简化和网格划分难问题，能够在几分钟内分析全功能CAD程序集而无需网格划分

相比于传统统计分析，人工智能技术分析决策能力更加突出，成为数字孪生数据建模主要方法

基于深度学习、强化学习等技术，建立深度分析模型，提高分析效率

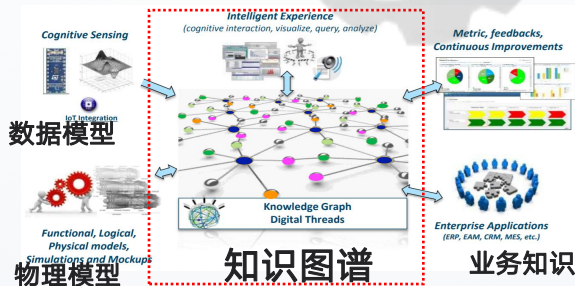


- 创建设备数字孪生体，使用机器学习创建预测性维护算法，提升决策精度

基于知识图谱构建全产业链、全领域的巨模型，大大提高模型关联范围



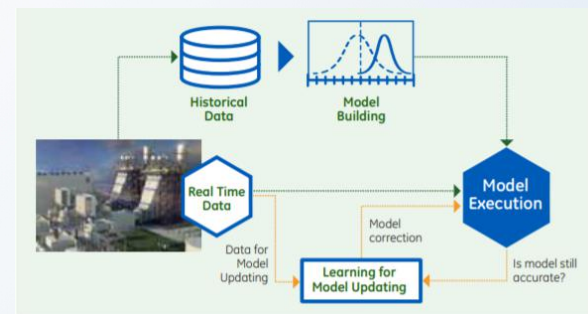
- 基于知识图谱将企业业务知识、产品的物理模型、仿真模型等结合起来，支撑数字孪生实现多类模型间的关联



基于迁移学习提升模型通用性，不需要针对同类型不同问题对象多次建模



- GE孪生模型通过迁移学习提升新资产设计效率，有效提升模型开发速度和更精确的模型再开发，以保证虚实精准映射





传统平面人机交互技术不断发展，但仅停留在平面可视化

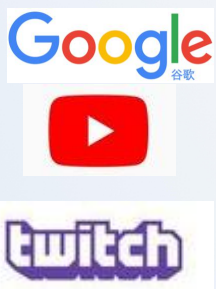
新兴AR/VR技术具备三维可视化效果，正加快与几何设计、仿真模拟融合，有望持续提升数字孪生应用效果

H
M
I



贝加莱研发的mappView HMI技术具备**灵活可拓展的人机交互方式**。包含对不同权限客户显示所需内容、手势控制、可托拉拽的控件等

W
E
B



谷歌、Twitch、YouTube等大型企业布局html5技术,通过html5**全栈开发技术**降低对适配终端应用门槛，**实现PC端和移动端一体可视化**



SIEMENS

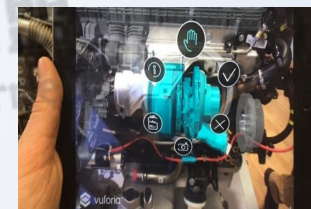
AR+CAD

推出Solid Edge 2020产品新增增强**现实功能**，能够基于OBJ格式快速导入到AR系统，提升3D设计外观感受



AR+三维扫描建模

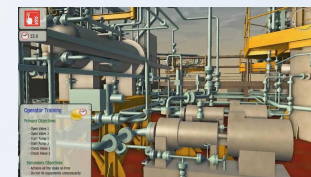
Vuforia Object Scanner **可扫描3D模型**并转换为Vuforia引擎兼容的格式



SIEMENS

AR+仿真

将COMOS Walkinside **3D虚拟现实**与SIMIT **系统验证和培训的仿真软件紧密集成**，缩短工厂工程调试时间



数据集成深度

由单一领域向机械、软件、电子多领域集成发展

西门子Xcelerator综合集成:

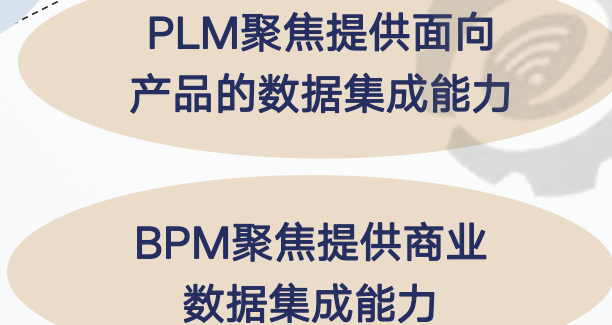
包括产品全生命周期管理 (PLM)、电子设计自动化 (EDA)、应用生命周期管理 (ALM)、制造运营管理 (MOM)、嵌入式软件和物联网 (IoT)



数字线程技术实现面向机械、软件、电子等多领域数据深度集成



PTC:利用ThingWorx平台跨cero (CAD)、windchill (PLM)、Vuforia (AR) 以及其他多个软件系统实现实时数据同步, 构建全流程的数字线程



借助IOT平台的跨领域数据集成能力, 构建包含产品全生命周期、全业务流程数字线程

从基于PLM/BPM的局部互联向基于工业互联网平台的全面互联演进

数据集成范围

跨领域模型融合

- 多物理仿真技术：构建更精准单体数字孪生模型



基于Simplorer工具的多物理场建模仿真解决方案，能够对外输出复杂模型融合的数字孪生构建服务。

- 多学科联合仿真技术：有效构建系统级数字孪生模型



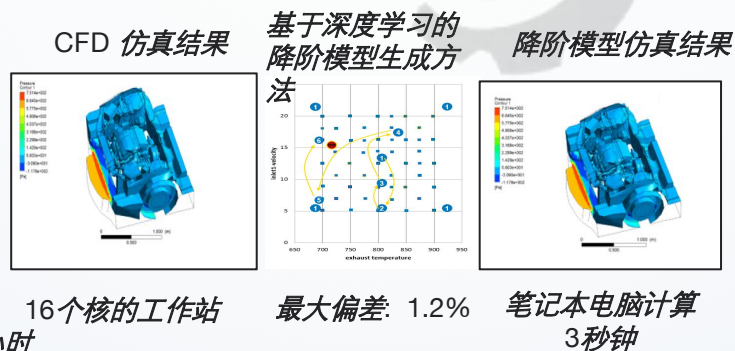
贝加莱MapleSim Connector 基于FMI/FMU技术统一不同领域仿真工具接口，构建系统级数字孪生应用

跨类型模型融合

降阶模型技术：有效实现仿真模型和数据模型的互操作，极大降低仿真求解时间



利用深度学习算法进行10次CFD仿真，获得整个工作范围内的流场分布降阶模型，降低仿真模拟时间

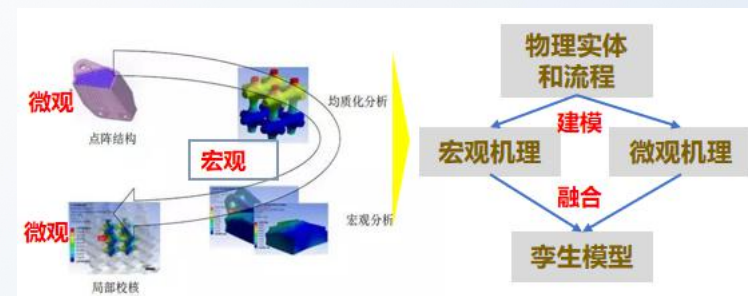


跨尺度模型融合

多尺度建模技术：通过建模工具融合不同时间、空间尺度的模型，使孪生模型能够融合微观和宏观的多方面机理

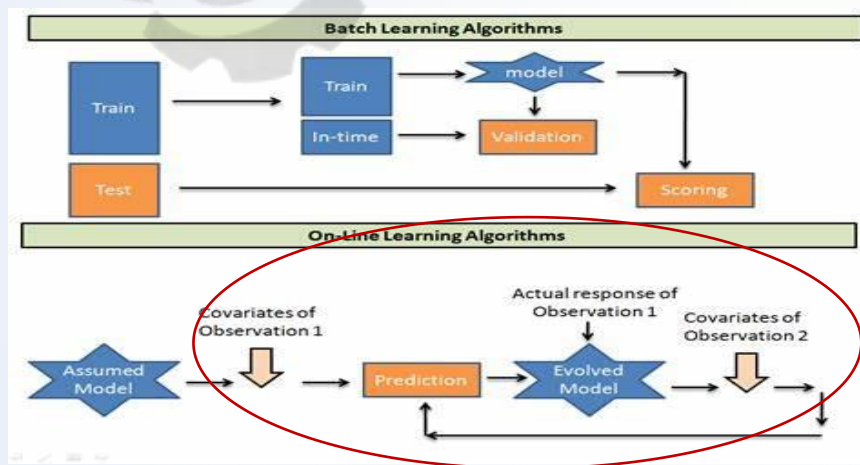


自动驾驶汽车产品PAVE，集成了从芯片设计到软硬件系统、整车模型以及交通流量等不同领域和尺度下的模型，形成数字孪生构建能力



数据模型修正

- 在线机器学习基于实时数据持续驱动模型完善，能够有效的对模型进行动态修正



基于实时数据流动态修正模型

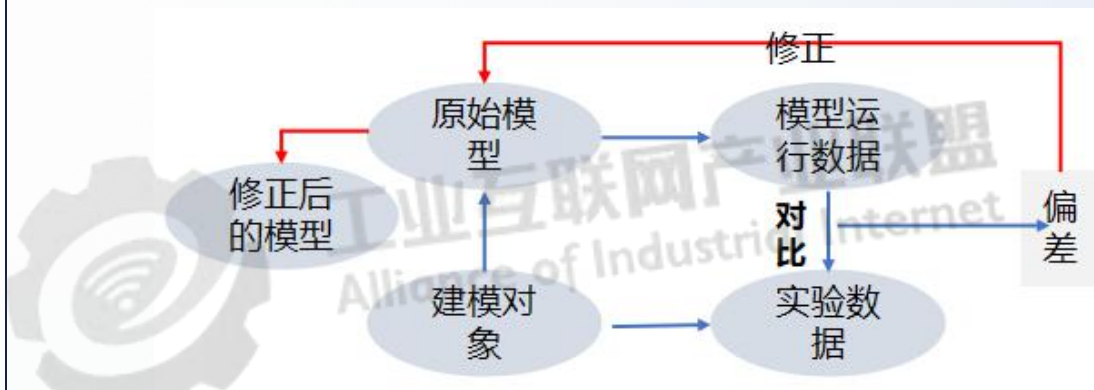


流行的Tensorflow、Skit-learn等AI工具中都嵌入了在线机器学习模块，基于实时数据动态更新模型

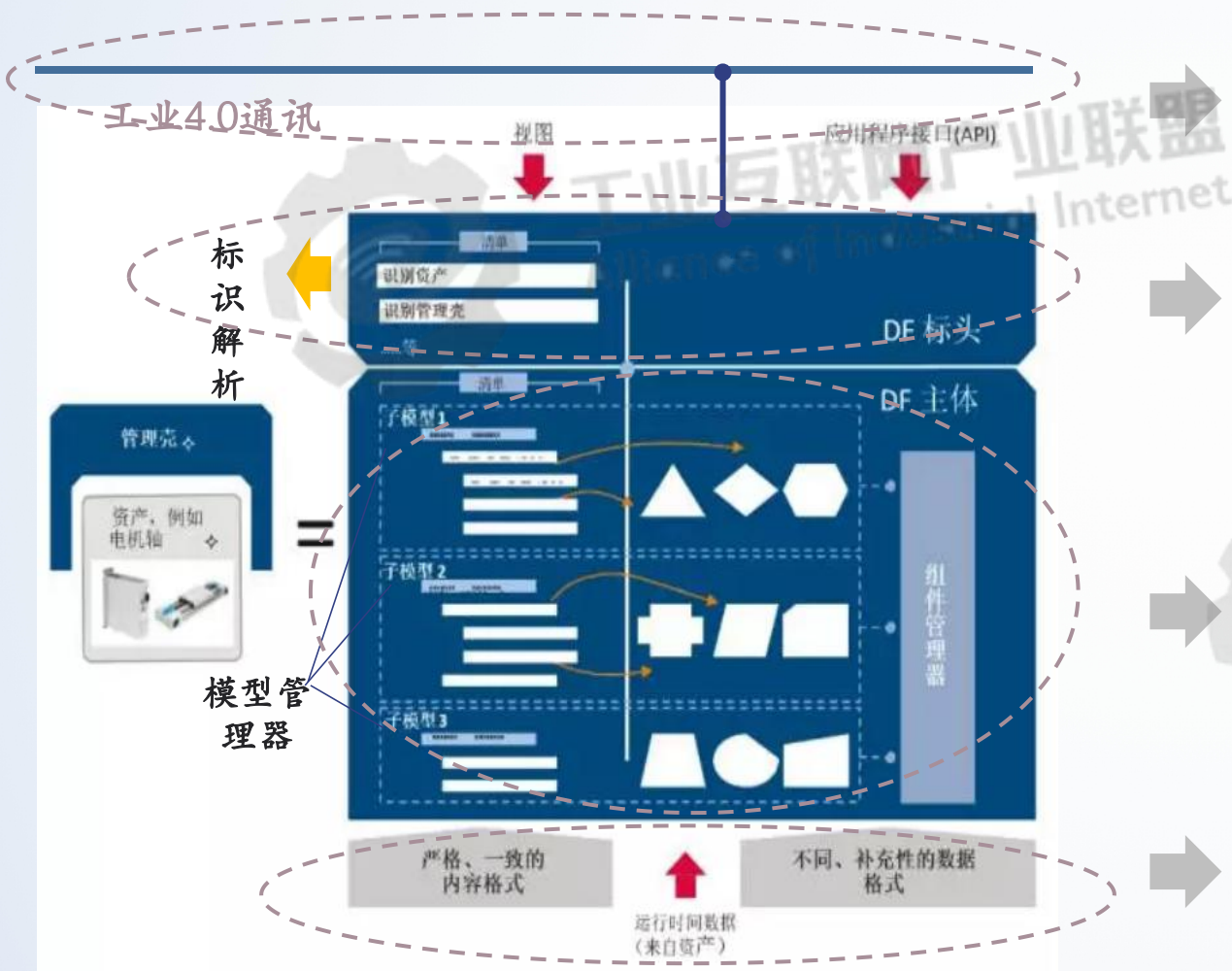


有限元模型修正

- 有限元仿真模型修正技术能够基于试验或者实测数据对原始模型进行修正



领先厂商的有限元仿真工具中，均具备了有限元模型修正的接口或者模块，支持用户基于试验数据对模型进行修正



功能四：工业通讯，统一网络协议，实现高效的数据共享

功能三：标识解析，每个管理壳都有唯一标识，不同管理壳间能够相互识别，进而实现管理壳间模型灵活抽取

功能二：模型管理及融合，有效管理几何模型、数据模型、仿真模型、业务模型等不同类型模型，支持模型间无缝互操作

功能一：数据集成，不同设备、不同业务系统数据格式统一

1

背景及内涵

2

技术体系及关键技术

3

产业布局

3

应用趋势



数字孪生产业视图

1、少数巨头企业既提供“数字线程工具”又提供“建模工具”，初步形成从数据集成到建模支撑的一体化数字孪生解决方案。

PLM工具	产品研发工具	事件仿真工具
SIEMENS	Teamcenter	NX
		Tecnomatix

2、仅提供“数字线程”或“建模”工具的企业通过能力互补合作共同提供“数据+模型”工具，或者凭借自身业务优势独自提供数据/模型单项工具。



合作共建的数字孪生体，其中ANSYS提供CAE仿真工具，PTC Winchill、kepower提供数据集成工具



数字线程类的BPM软件企业CANEA仅提供面向业务流程数据集成工具CANEA ONE












3、提供孪生模型类企业发挥工业经验知识优势，聚焦提供细分领域数字孪生服务。



装备制造康明斯熟知发动机装备原理，为客户提供“实体装备+云端孪生体”服务

巨头企业各自具备完善的产品系列，具备从数据集成到建模支撑的一体化数字孪生解决方案的强大实力

	产品设计	事件仿真	数据线程	分析预测
				
				
				



PTC在Thingworx中将自己的工具组件数据和解决方案进行集成，帮助用户打造数字孪生



达索依托自身完善的产品链条，提供定制化咨询、部署和工程服务，实现在3Dexperience平台上的数字孪生建设。



西门子基于Xcelerator工业软件体系品牌，打造面向产品、生产的数字孪生解决方案

PLM企业在优化产品性能和扩充产品系列上发力，提供数字线程工具

自身产品：提升数据集成性能

西门子将电子设计产品mentor与工程设计产品NX集成，实现机电设计一体化

自身与其他产品：提升兼容性

Aras提供的PROSTEP OpenPDM，可直接连接到市场上主流的PLM系统，进一步扩展PLM集成范围

产品与用户：不同群体按需提供

达索为不同用户群体按需打造PLM产品，提升用户粘。为中小企业提供ENOVIA Smarteam，为高端企业提供ENOVIA Matrix One产品

BPM企业聚焦提供业务流程数据集成工具，并不断提升数据可视化能力

独自研发业务流程管理软件，提升数据可视化能力

MAVIM提供业务流程数据集成及可视化功能，为客户提供组织数字孪生(DTO)建设工具

通过合作方式完善组织数字孪生解决方案服务能力

iGrafx与myInvenio、UiPath、BP3 Global进行核心功能整合，形成流程挖掘和组织数字孪生（DTO）功能的产品

提供物理、化学、电子等客观规律建模工具

模式一：向上通过引入VR/AR技术来提供可视化工具



Autodesk与微软合作，以Fusion 360设计系统为中心，引入微软的HoloLens VR 全息眼镜，实现全息设计



Ansys针对自动驾驶汽车的传感器推出仿真解决方案，并收购OPTIS，将OPTIS虚拟现实工具与仿真相结合，进一步扩大自身的市场领先地位。

模式二：向下借助构建平台或与平台企业合作来提供数据集成能力



ANSYS与PTC合作，推出将ANSYS仿真技术快速部署到ThingWorx平台中的连接器，实现快速的数据识别和分析诊断

模式一：横向业务拓展，通过不断积累模型库中的事件仿真模型，丰富事件仿真应用场景。



Anylogic持续积累各特定行业的仿真模型，目前能够面向石化、铁路、矿业、港口等行业提供仿真工具



Mevea拥有强大的物理计算引擎，同时不断积累面向工程机械、矿业、船舶等事件仿真模型;实现在驾驶舱上的事件模拟和培训。

日本三井造船

不断积累面向不同领域事件仿真模型库，不仅可以当作物流生产线的仿真器使用，而且应用于单个机械设备的仿真方面。

模式二：纵向业务深耕，将事件仿真与数据科学相结合，优化事件仿真的精准度



Simio 打造专业模型库，将大数据分析的学习能力与模拟分析的预测功能相结合，实现流程计划仿真决策预测的便捷性和准确性



通过将Process Simulator的预测分析功能与AUTODESK等软件集成在一起，实现数据与模型的迅速迁移，有效缩短建模时间

模式一：立足传统数据库优势，叠加智能分析算法服务，提供集数据管理和分析为一体的数字孪生工具



Cloudera数据平台利用云化的数据分析环境、开源的数据分析引擎和开放的组件接口提供快速部署数字孪生的数据应用工具。



SAP HANA

OSIsoft 推出的PI System可实现针对数字孪生的产品组件Asset Framework，将数据与SAP HANA中可用的预测分析和机器学习算法结合在一起，提供针对复杂数据的处理与管理。



DATA HUB



DATA FLOW & STREAMING



DATA ENGINEERING



DATA WAREHOUSE



OPERATIONAL DATABASE



MACHINE LEARNING

模式二：立足提供数据分析工具优势，并与自研仿真软件形成组合，提供数据建模和仿真建模一体化工具



将旗下数学软件MATLAB和仿真软件SIMLINK打通集成，构建数据模型和仿真模型统一操作环境，打造机理模型和数据模型融合的数字孪生体。



拥有数学软件Maple，并自研仿真软件Maplesim，将两款软件结合，支持产品虚拟原型设计，降低产品开发风险

部分装备制造原先只进行单一产品的点对点交付，未来装备制造有望从单一产品的点对点交付到实现“物理产品+孪生模型”的供给转变，提升产品的市场占有率和企业自身的产业升级

模式一：依托自身对产品的深入理解，自行构建产品孪生模型



依托深厚的设备制造经验，在ABB Ability软件系统基础上，推出了PickMaster Twin产品，尝试打造完整的数字孪生体系



ABB Ability™



PickMaster® Twin

模式二：借助信息技术企业支持，共同构建产品孪生模型

DMG MORI

以自身产品技术特点为背景，与专业的咨询公司合作实践，建立有针对性的数字孪生解决方案提供商

DMG MORI



HEITEC
engineering solutions



DMG MORI
HEITEC

模式三：提升产品开放程度，辅助用户构建产品孪生模型



KUKA

从自身产品功能出发，根据场景需要，对设备数据接口进行模块化集成，完善数字孪生体构建的边缘条件

设备

需求



模式一：面向设备管理构建预测性维护解决方案



博华面向高端装备，通过参数化与非参数化方法相结合的手段对故障样本进行数据提取和分析，为用户提供**异常捕捉和机群管理**



Falkonry基于自身强大的预测性维护知识能力，打造**跨行业设备预测性维护**的数字孪生解决方案

模式二：面向生产优化构建数字孪生模型



贝加莱基于Automation Studio内嵌的经验模型，对车间的**产线设计和物流规划进行虚拟调试**，可提前发现错误



艾默生将流程行业过程自动化的经验模型存放在Mimic™模型库中，支持在**离线开发和测试批处理和连续控制系统配置**

模式三：面向运营优化构建数字孪生模型



凭借自身在物流行业多年知识经验积累，构建**物流领域的数字孪生解决方案**，并通过VR实现可视化培训



通过自身强大的供应链应用知识体系和案例经验，面向不同客户开发完整的**供应链数字孪生解决方案**

模式一：将自身技术优势与客户的行业经验相结合，构建以智能分析预测模型为核心的数字孪生解决方案



UPTAKE采用先进的AI数据科学平台，和针对各行业经验建立的数字AI软件模型库，帮助客户打造一站式分析预测模型



天泽智云GenPro平台与用户行业知识快速融合，降低建模门槛，结合EdgePro的边缘数据分析帮助用户迅速构建分析预测模型



Sight Machine通过其AI数据管道的数据处理能力，挖掘孤岛数据价值，并使制造商在数字孪生体中监测并改善生产过程

模式二：与专业服务企业合作协同，将智能分析预测模型集成至数字孪生解决方案



Presenso成为西门子预测性资产维护的AI和机器学习的战略合作伙伴。通过分析方案的融合，提升运维工具性能



Falconry已经与OSISoft PI和Azure IoT Suite直接集成。Falconry可以在其LRS 2.0的平台上帮助用户迅速打造设备预测性维护解决方案

1

背景及内涵

2

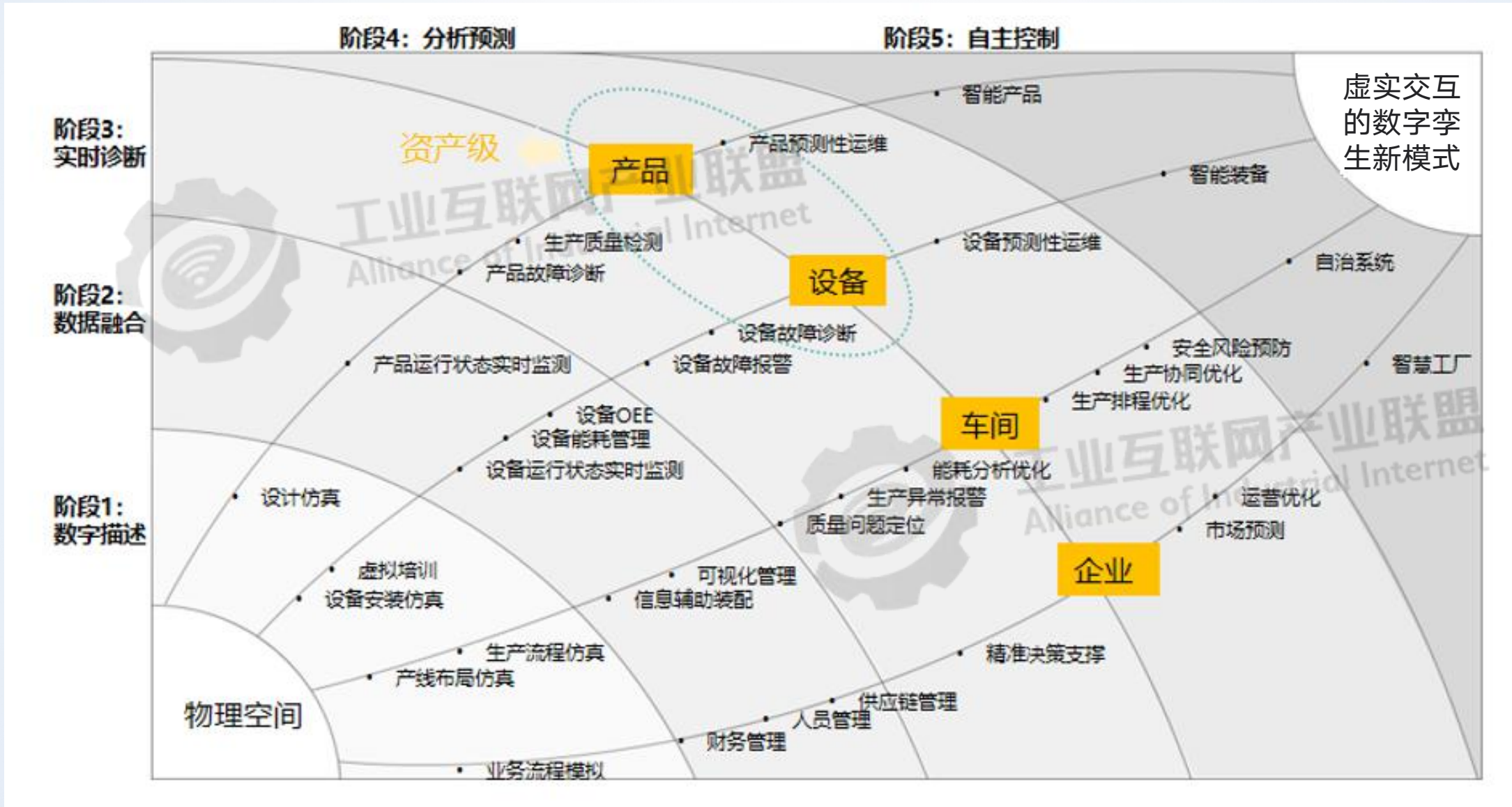
技术体系及关键技术

3

产业布局

3

应用趋势



□ **大部分应用**仍处于数据融合和实时诊断阶段

□ **少数单点应用**实现分析预测和自主控制

□ **产品、设备应用**：从分析预测阶段向自主控制的智能化分析探索

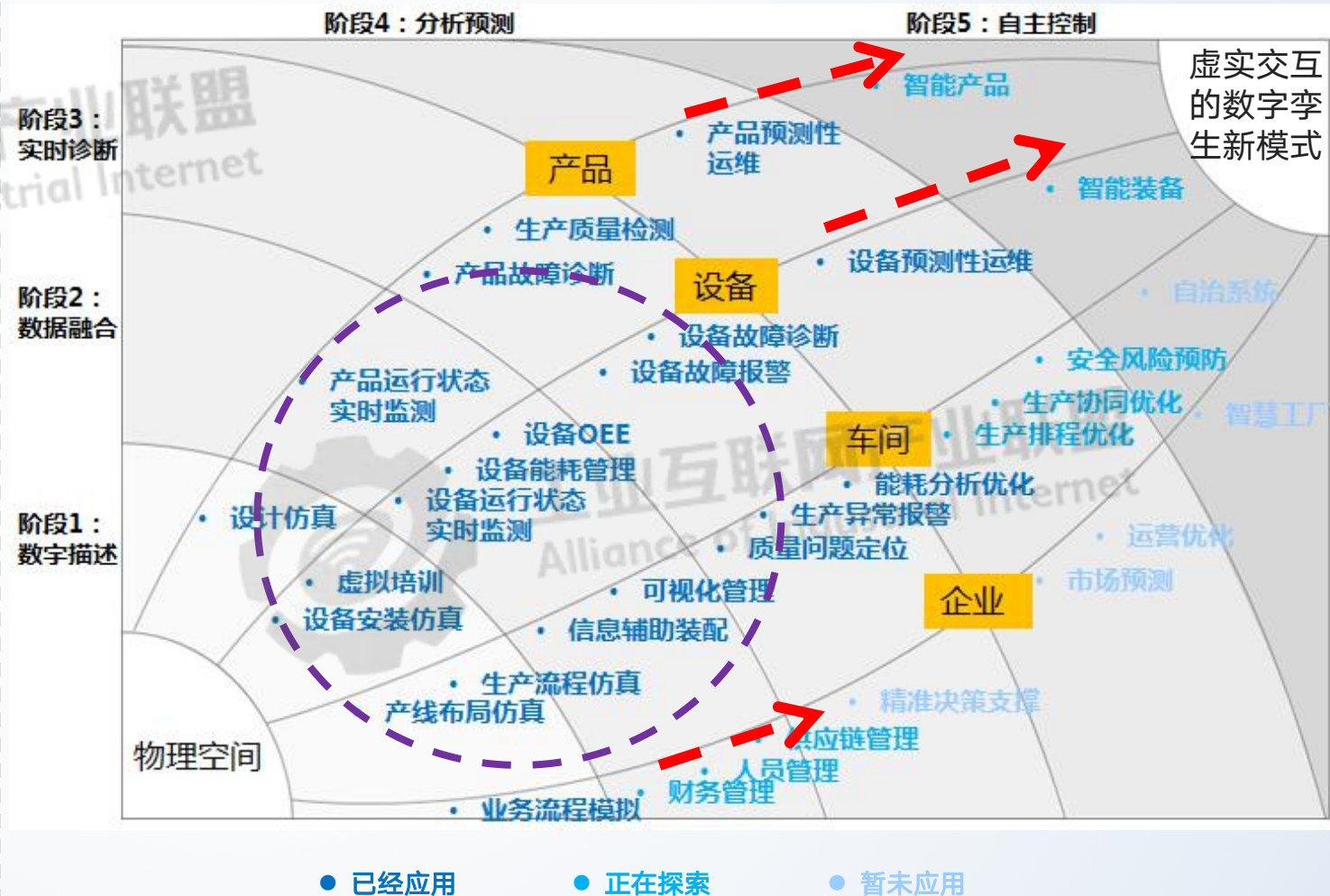
- 场景比较单一，所需的建模技术并不复杂且相对成熟

□ **车间应用**：向分析预测阶段演进

- 监控诊断日趋普及，面向工艺、流程的分析建模能力逐步提升

□ **企业应用**：停留在基础的数据融合阶段

- 当前建模分析能力还无法支撑构建如此复杂系统的高级数字孪生



行业基础分析：生产过程连续且变化复杂，控制过程自动化程度高，具备较好的数据基础，行业经验积累和沉淀比较丰富

运营管理			
安全管理			
物流管理			
生产管控	 石化盈科 PCITC 石化盈科三维可视化工厂	 BAOSTEEL 宝钢转炉炼钢  bp 英国石油公司油井Apex系统	 酒钢集团 JISCO 酒钢高炉炼铁
设备管理	 印度石油公司 IndianOil 印度石油公司设备三维可视化	 壳牌集团 Shell 壳牌集团天然气设施	 DNV-GL DNVGL集团PDT系统  Lundin Petroleum 挪威伦丁石油公司油气平台  Baker Hughes  GE 贝克休斯 IntelliStream
研发设计			
	数字描述	数据融合	实时诊断

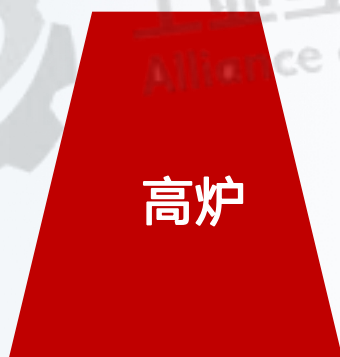
应用特点分析：数字孪生应用主要着眼于对生产过程的优化提升，重点从**工艺流程管控**和**重大设备管理**两个方面入手



酒钢集团高炉炼铁数字孪生，实现生产过程的实时监控和预测分析，优化生产控制过程，降低排放能耗、降低风险

1. 实时精准数采

- 部署各类传感器，对高炉炉体状态进行实时精准监测
- 三维激光料面扫描仪
- 炉顶热成像
- 风口高速CCD摄像
- 集成引出式长寿命检测系统
- 高精度高分辨率低功耗冷却水热流强度检测系统



传感器检测

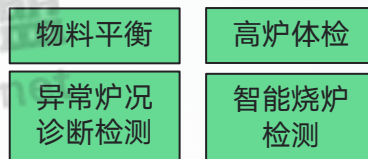
温度传感器	3D相机
柔性热电偶	激光测距
热成像	流速传感器
压力感应	摄像头采集

能耗优化
物料优化

高炉控制系统

控制参数等

炉温、料面、流速等



高炉炼铁数字孪生



高炉全生命周期、全状态的认识，机理和过程的深度感知

大数据/AI+机理建模

3. 监测及优化控制

构建高炉数字孪生，开发形成各类应用APP，优化控制能耗和物料

- 物料平衡、高炉体检
- 异常炉况诊断、智能烧炉
- 炉缸侵蚀监测、冷却壁监测

2. 机理模型研发

联合有关高校研发炼铁能耗专业性机理模型和大数据人工智能模型，

- 炉缸炉底三维非稳态温度场模型
- 冷却壁炉墙温度场应力场模型
- 风口套温度场模型

单座高炉每年降低成本2400万元、单座高炉每年减少碳排放20000吨，冶炼效率提升10%

中冶京诚通过设备管理的数字孪生，实现设备运行状态的集中监控，故障预警和预测性运维，减少设备非正常停机，提高设备利用率



故障处理时间减少70%，工厂的运营效率提高50%

1.设备各环节数据的全面连通

结合BIM技术，全面贯通设备设计、运行、检修、换件和报警等各类信息，通过三维数字化工厂平台快速定位主要设备，查看重点设备的零部件信息及拆装操作指导。

2.数字化工厂平台为核心的智能设备巡检和监控

智能化设备巡检，操作人员通过设备图纸提前了解巡检设备操作流程，到预定地点对指定设备进行点检。

实时监控设备运行状态，迅速响应、定位、处置报警信息，并将处理过程记录入库，形成企业专家数据库

3.大数据分析预测性运维

通过大数据平台对设备进行信息进行缺陷分析，优化预测设备生产和运行状态，优化检修计划

行业基础分析：设计仿真软件应用普及度高，产品数字化、智能化程度较高，单体价值较高催生较强的数字孪生应用需求。

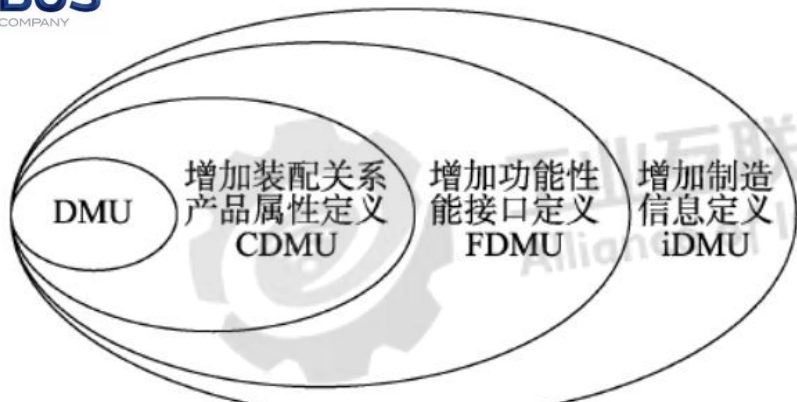


应用特点分析：数字孪生应用主要**聚焦产品全生命周期优化**，当前以**产品设计阶段和运维阶段**为主。

面向产品设计的数字孪生应用案例



空客基于数字样机实现飞机产品的并行研发，提升一致性及研发效率



空客DMU 的进化

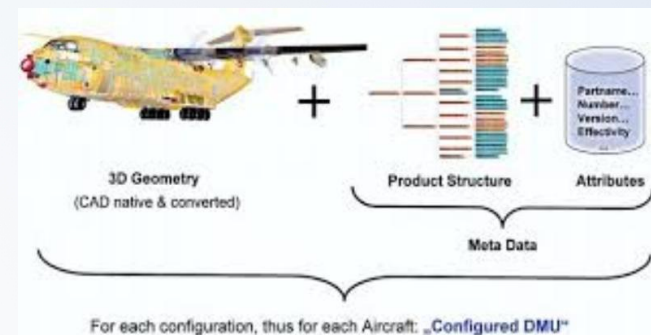
A350XWB研发的挑战是与供应商紧密合作，加速研制进程，以实现按时交付

效果

在A350XWB项目中，在以DMU为主数据的数字化平台上，**超过4000人**参与了研发工作，其中**85%**来自供应链企业。归功于单一的DMU协同平台，**工程变更数量降低到A380研制时的1/10**，实现了预定目标。”

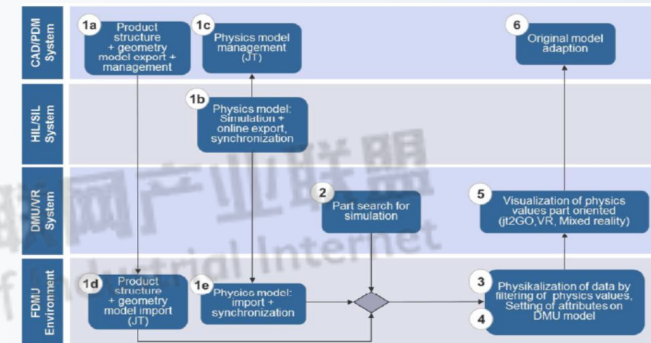
- 可配置的数字样机CDMU-描述产品结构、组织关系、模型状态（设计阶段）

由三维模型、产品结构、产品属性组成



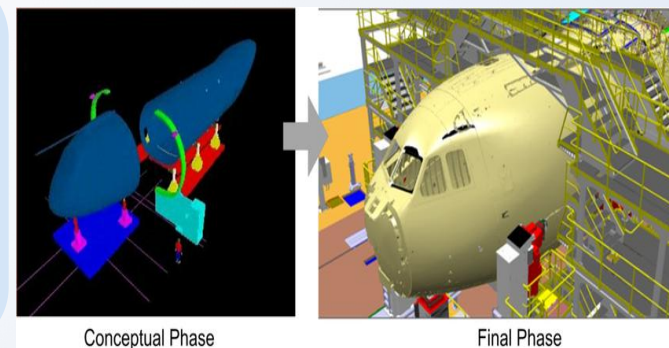
- 功能化数字样机FDMU-描述功能和行为（设计阶段）

以DMU为载体,提取部组件并赋予物理意义,支撑需求与功能分析、系统架构设计与综合性能仿真



- 面向工厂的数字样机iDMU-设计与工艺阶段高度共享模型

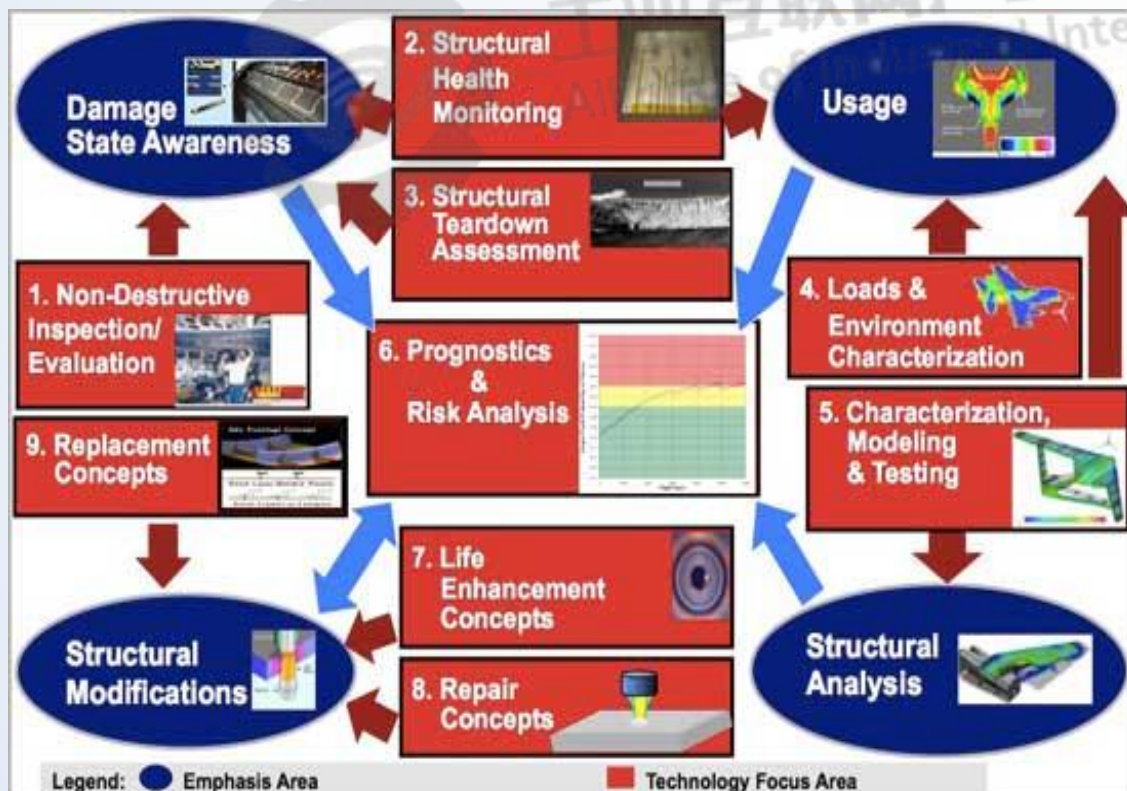
复杂产品制造完成后反映真实对象的数字化定义模型,除了定义产品与制造资源外,还有生产偏差等实际数据





美国空军研究实验室通过F-15C机体孪生实现飞机维护数字化

基于机尾编号数字孪生模型实现飞机实时高保真作战决策

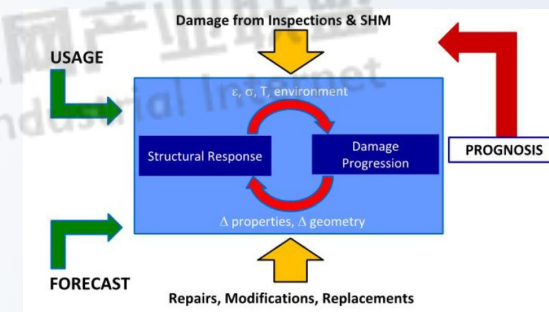


1. 构建机体数字孪生模型并结合实际数据进行仿真

与实物飞机一起交付特定于该机编号的**飞机数字模型**，包括与设计的**偏差**。
该数字模型将通过其机载SHM系统为实际飞机记录的相同飞行剖面进行**虚拟飞行**。

2. 仿真与实际结果比对，迭代模型

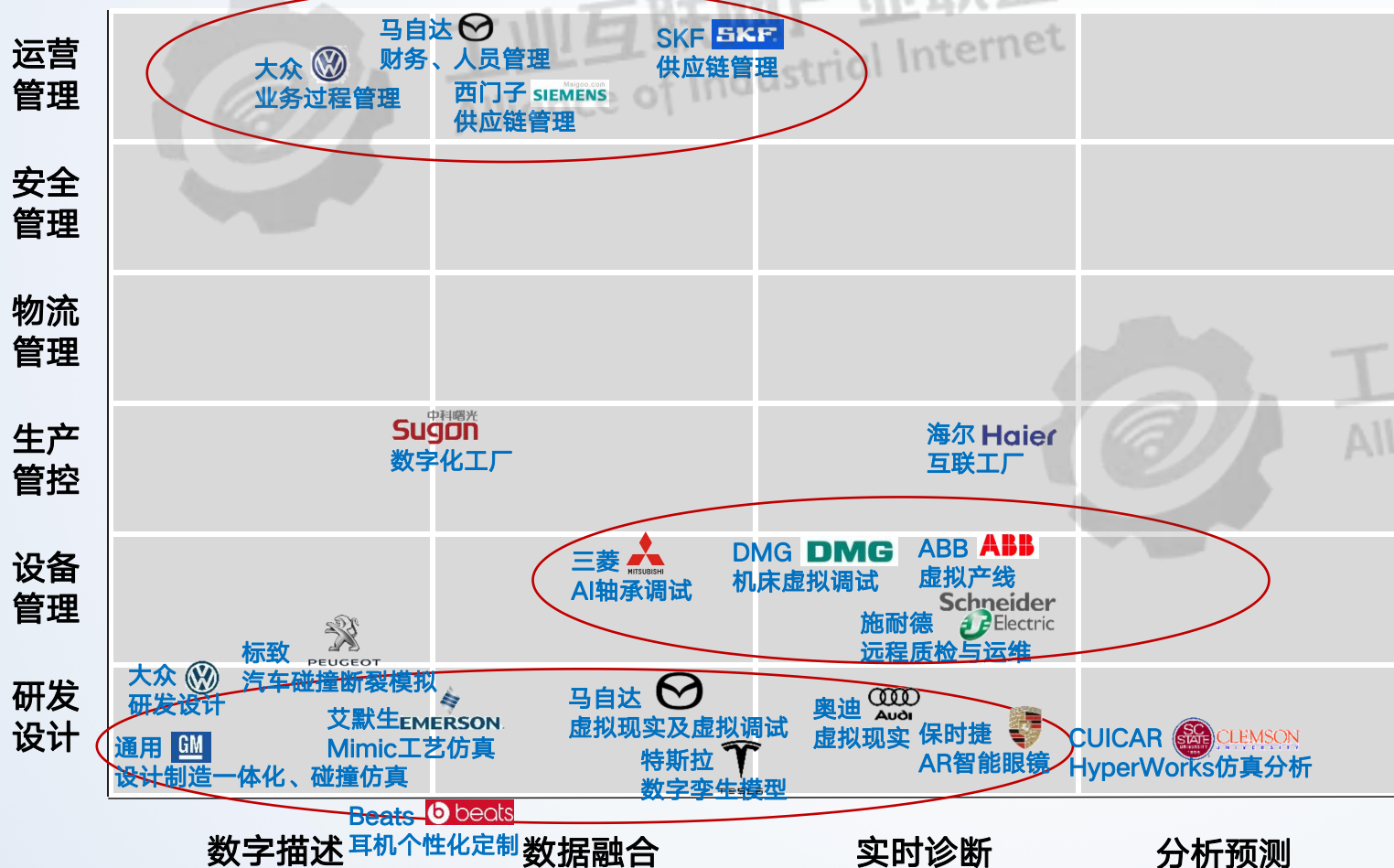
建模结果将与SHM系统在关键位置记录的传感器读数进行**比较**，以**更新/校准/验证模型**。
当发现意外**损伤**时，将其**添加到数字模型**中，使模型持续反映实际飞机的当前状态。



3. 通过孪生模型进行预测及维护指导

对机身的预测将通过在未来**可能的任务中运行数字孪生数字模型**来开发。
数字模型将用于**确定何时何地可能发生结构损坏**，以及**何时进行维护**。

行业基础分析：以汽车为代表的部分行业发展成熟，设计仿真软件普及程度及生产自动化、数字化程度较高，但其他大部分少品种多批量行业数字化基础及建模分析技术都较为薄弱。



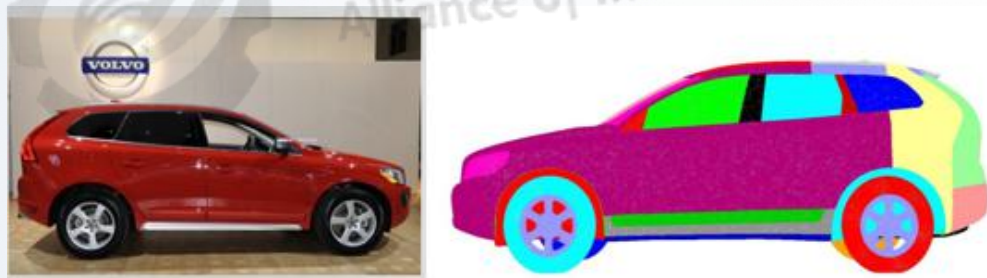
应用特点分析：总体来看，数字孪生应用还处于**多点探索状态**。

- 目前已实现系统级产品设计仿真，应用最为成熟
- 并开展低价值、多数量生产设备的管理应用
- 个别企业正在面向供应链管理应用数字孪生技术

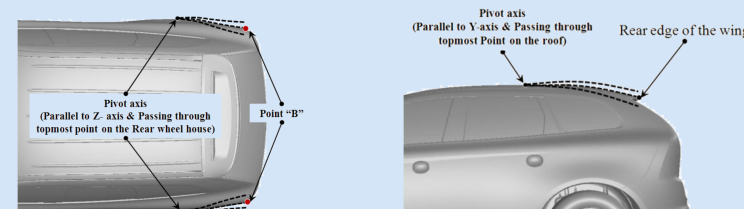


Volvo将数字孪生技术应用于汽车整车研发，提升汽车的可靠性、安全性及舒适性

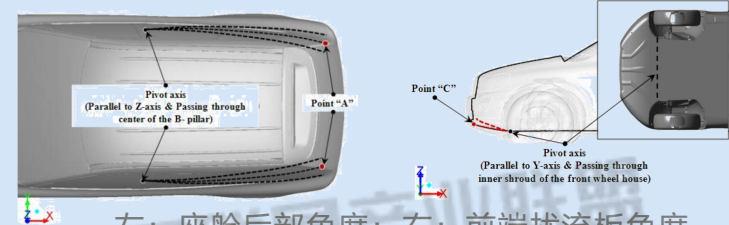
Volvo公司针对XC60原车外形设定了4处可以进行参数化变动的变量，并在变量的设计空间内定义了50个设计点进行DOE分析，最终通过优化算法得到了在设计空间内的最优气动外形设计方案，这套仿真流程有着极强的工程实用价值。



实现对原车外形的参数化变形，共定义了4个参数化变量。

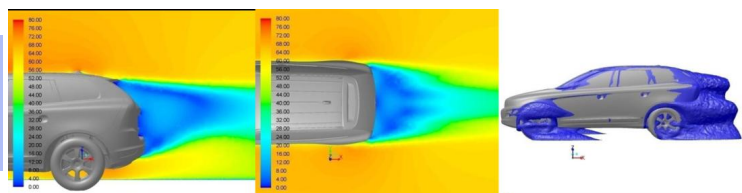


左：车尾两侧角度；右：车顶后段下倾角度

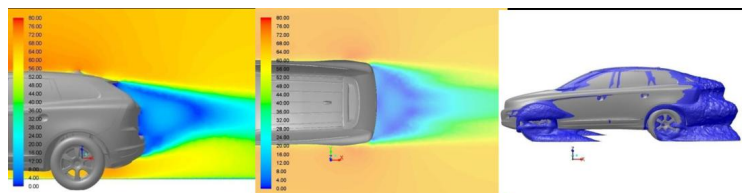


左：座舱后部角度；右：前端扰流板角度

原车型



优化后



效果

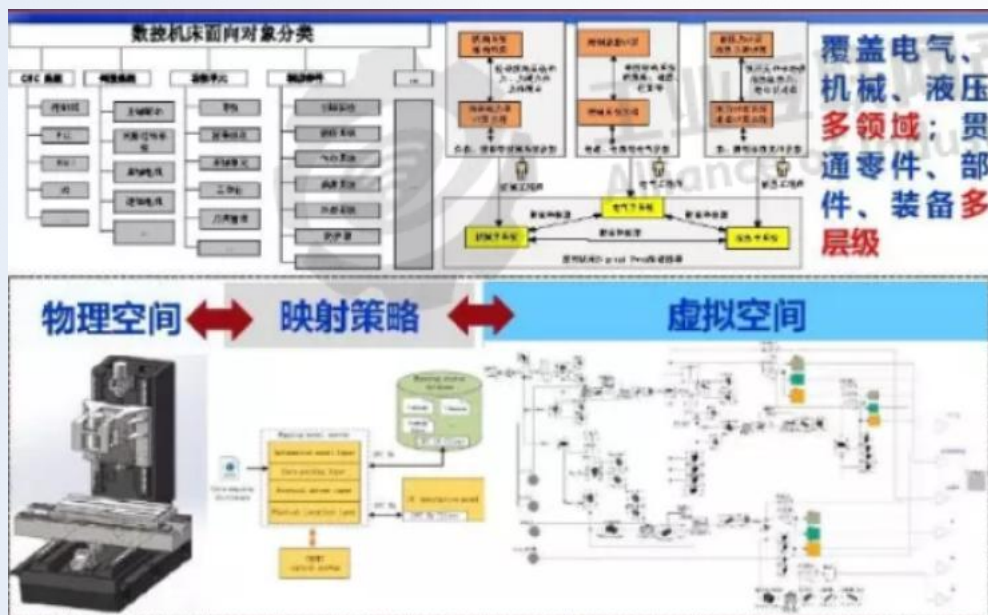
原车型受到的气动阻力为 388.01 N，经过优化分析后的气动阻力为 372.30 N，降低了约4%的气动阻力。

定义设计空间，对4个参数化变量进行寻优。

Design Space Bounds			
Parameter	Min	Baseline	Max
Boat tail angle	- 1.85	0.0	+ 1.85
Long roof drop angle	- 2.30	0.0	+ 1.50
Green House Angle	- 0.70	0.0	+ 0.70
Front Spoiler Angle		0.0	+ 3.80

DMG MORI

DMG通过数字孪生技术实现机床虚拟调试



效果:

让用户能在**加工前**，先用计算机进行**仿真**，安全地检查昂贵工件的复杂加工过程。以此确保加工的绝对安全并在**事前优化工艺**，提升加工效率。

DMG MORI 虚拟机床节省了 **25% 的调试时间**。



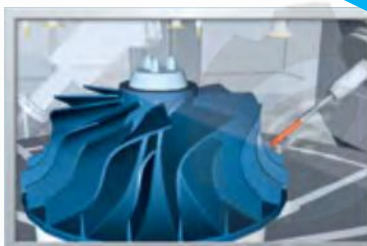
构思

新工件可以在 CAD 环境中按实际比例建模。采用最先进的 NX CAD 技术，快速的获得生产模型。



编程

NX CAM 支持 DMG MORI 机床的所有车削和铣削加工策略。该程序通过经认证的处理器输出，保证数控轨迹的运行能力。



1:1 仿真

1:1 地仿真实物机床，包括机床的全部几何量及运动特性，以及实际的数控系统；用户能在计算机上发现碰撞及程序错误。

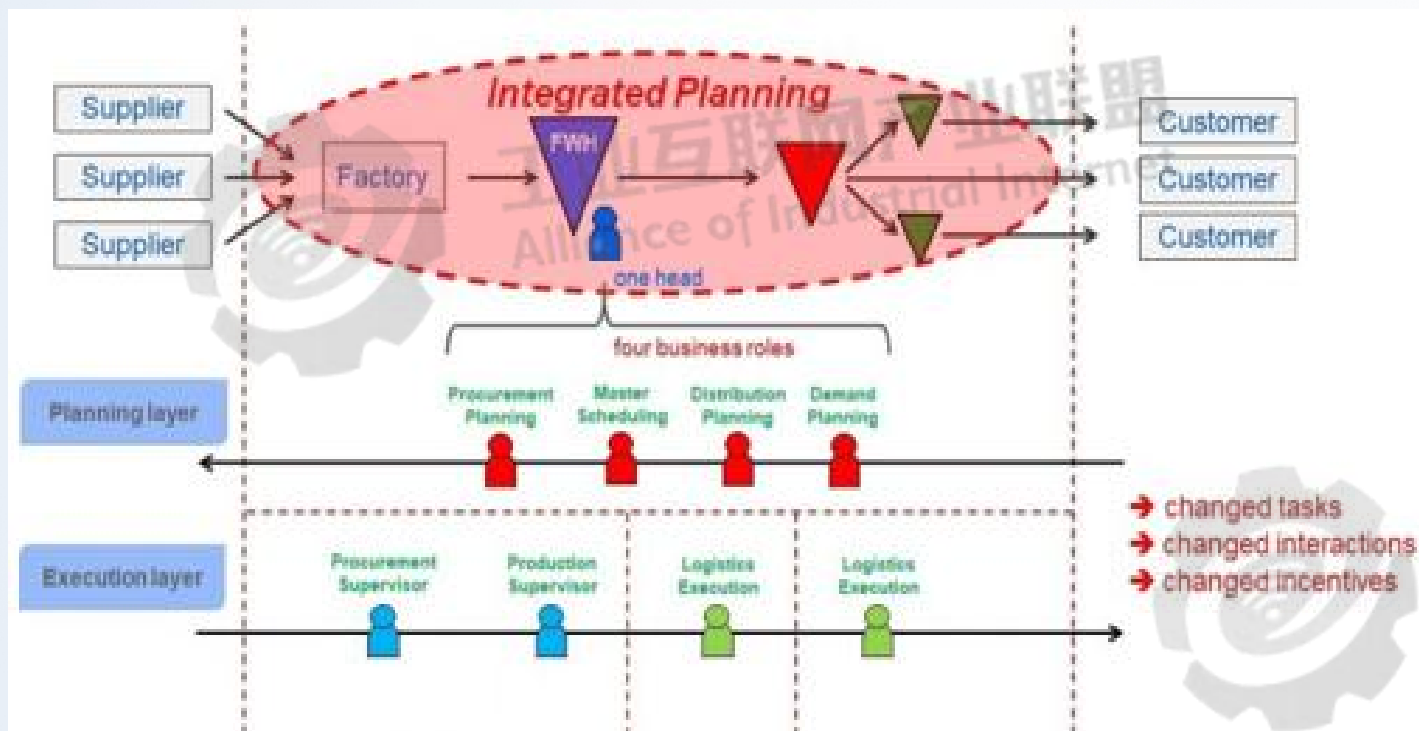


生产

DMG MORI 机床可实现工件的100%无碰撞生产。使生产更经济、更安全和更快捷。

SKF

世界最大轴承制造企业SKF利用数字孪生实现全球供应链管理



Step1: 创建供应链网络地图

从5个ERP系统的40多个实例中提取约**50万**个库存单元**数据**

建立产品制造、存储、移动和销售的关系模型

Step2: 形成“栩栩如生”数字孪生

向网络地图中添加用户订单、物流运输、库存水平等**实时运营数据**

洞察当前全球供应链运行状态和**存**在的问题

Step3: 用数字孪生进行供应链集成管理

优化供应链中所有位置的需求，库存和计划；更轻松感知需求偏差并更积极地解决它们。

效果

基于数字孪生提供的**数据可视性和完全性**，供应链规划人员能从本地运营转变为**全球化决策**，从而降低存储，运输成本，缩短供应周期。

(1) 总体判断：工业数字孪生成为全球热点，理论认知逐渐深化，产业创新日趋加速，应用探索开始涌现，但普及推广仍有挑战

仿真建模精度问题 多模型互操作难问题 数据语义、语法不统一问题 ...

(2) 几点展望

- 工业数字孪生是多类数字化技术的集成融合，仿真建模与数据科学的融合应用是其发展的关键
- 当前仅有少数巨头企业能够独自构建数字孪生解决方案，深化跨界合作是推动应用创新的必由之路
- 统一数据与模型标准是数字孪生创新发展的挑战，管理壳有望成为关键解决方案
- 平台是数据集成、模型融合的关键载体，将成为数字孪生发展的重要基础设施

致谢（排名不分先后）



- 美国工业互联网联盟（IIC）：林诗万
- 中国航空工业集团：宁振波
- 走向智能研究院：赵敏
- 中国科协智能制造学会联合体：林雪萍
- 北京航空航天大学：陶飞
- 中科院软件所：刘伟、董为
- 中科院沈自所：王挺
- 上海大学：刘丽兰
- 北京理工大学：陈宇峰、王爱民
- 恒力石化：余斌
- 华为：何明、陶佳琪
- 上海飞机制造公司：刘中伟
- 中科辅龙：宋楠
- 博华科技：赵大力
- 索为：王振华
- 同元软控：刘奇
- 朗坤：毛旭初、胡杰英
- 北京绥通：韩嵘
- PTC：郎燕、高谊、杨龙
- ANSYS：丁海强、杨帆、袁勇
- 西门子：顾欣、苕浩
- MathWorks：伍剑、马文辉

联系人：



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

刘阳：liuyang10@caict.ac.cn

赵旭：zhaoxu3@caict.ac.cn



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

融合·协作·共赢

共同把握工业互联网的历史机遇



联盟公众号：工业互联网产业联盟

联盟网址：<http://www.aii-alliance.org/>

联盟邮箱：aii@caict.ac.cn