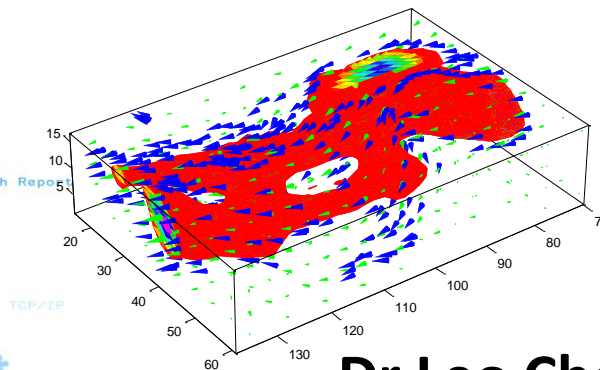
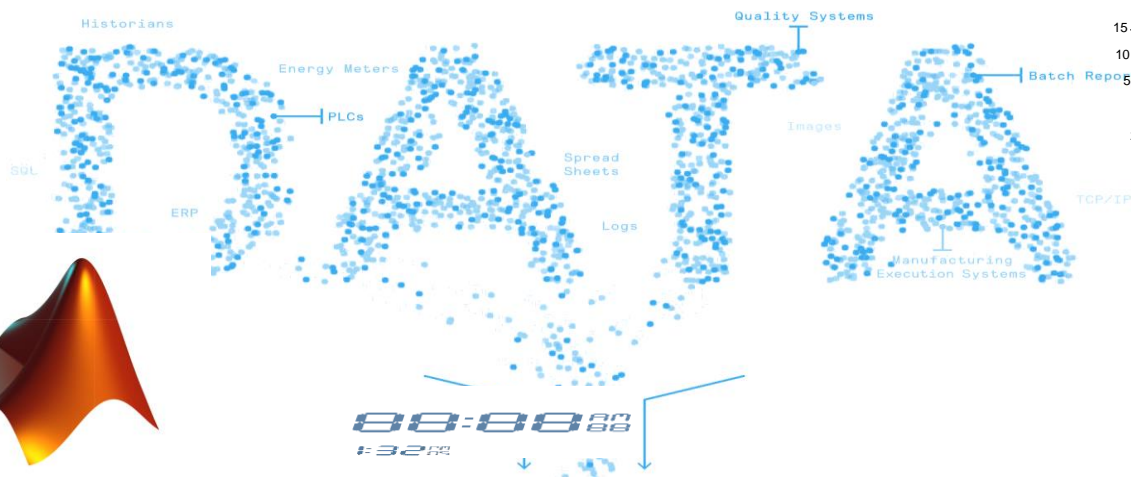




# 人工智能导论

## AI与工业4.0



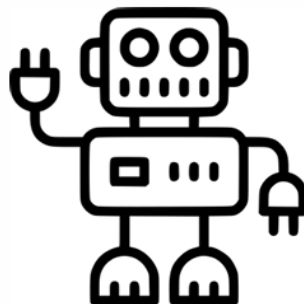
**Dr Leo Chen**

[leo.chen@ieee.org](mailto:leo.chen@ieee.org)

# 课程目录

---

1. 导论
2. 进化计算
3. 人工神经网络
4. 模糊逻辑与模糊系统
5. 更多AI子集
6. **AI与工业4.0**



# 章节内容

---

- **工业 4.0 (i4)**
- 数字孪生
- 人工智能驱动的数字化制造迈向 i4.0
- 各行业中的 i4

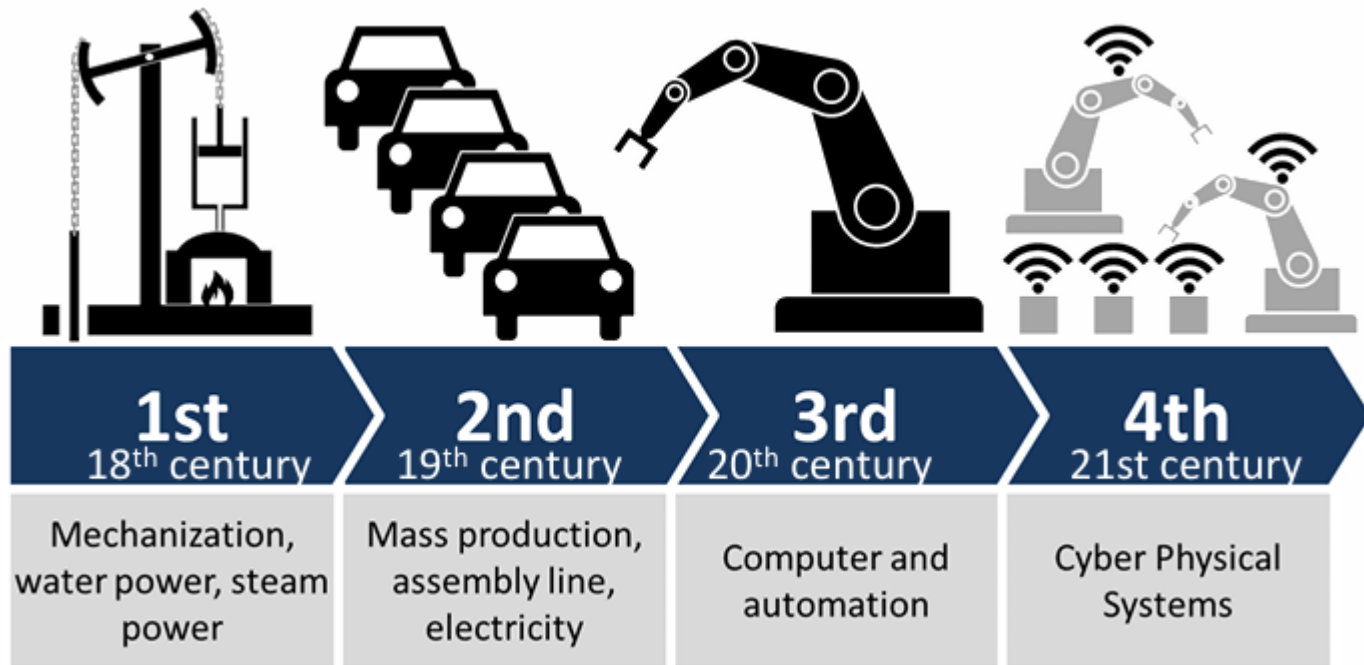
# 内容

---

- 什么是工业 4.0
- 基本步骤
- 传统制造与数字化制造
- 主要优势
- 工业 4.0 的支持技术
- 教程与课程作业
- 参考文献
- ROS

# 什么是工业 4.0 (i4 == 4IR)

- 工业 4.0 (i4) 通常被称为第四次工业革命 (4IR) 已经开始



# 第一次工业革命

---

- 始于 **18 世纪中期** 的英格兰
- **蒸汽机** 的发明，将 **热能转化为运动（能量转换）**
- 在此之前，人们几乎完全依赖 **植物作为主要能源来源**。
- 蒸汽动力被用来直接驱动英格兰不断发展的 **纺织** 工业的 **纺纱** 和 **织布** 设备。

# 第一次工业革命中的纺织工业

- 由于从 **英国在北美** 的 **殖民地** 进口了大量棉花，**纺织工业** 经历了急剧增长。
- 棉花 **廉价**，因为它几乎完全由奴隶种植。
- 殖民地 **供应** 英国纺织工业棉花，并提供了一个 **市场** 来销售 **制成品**。



Spinning Jenny

# 一些关键发明 [13-18]

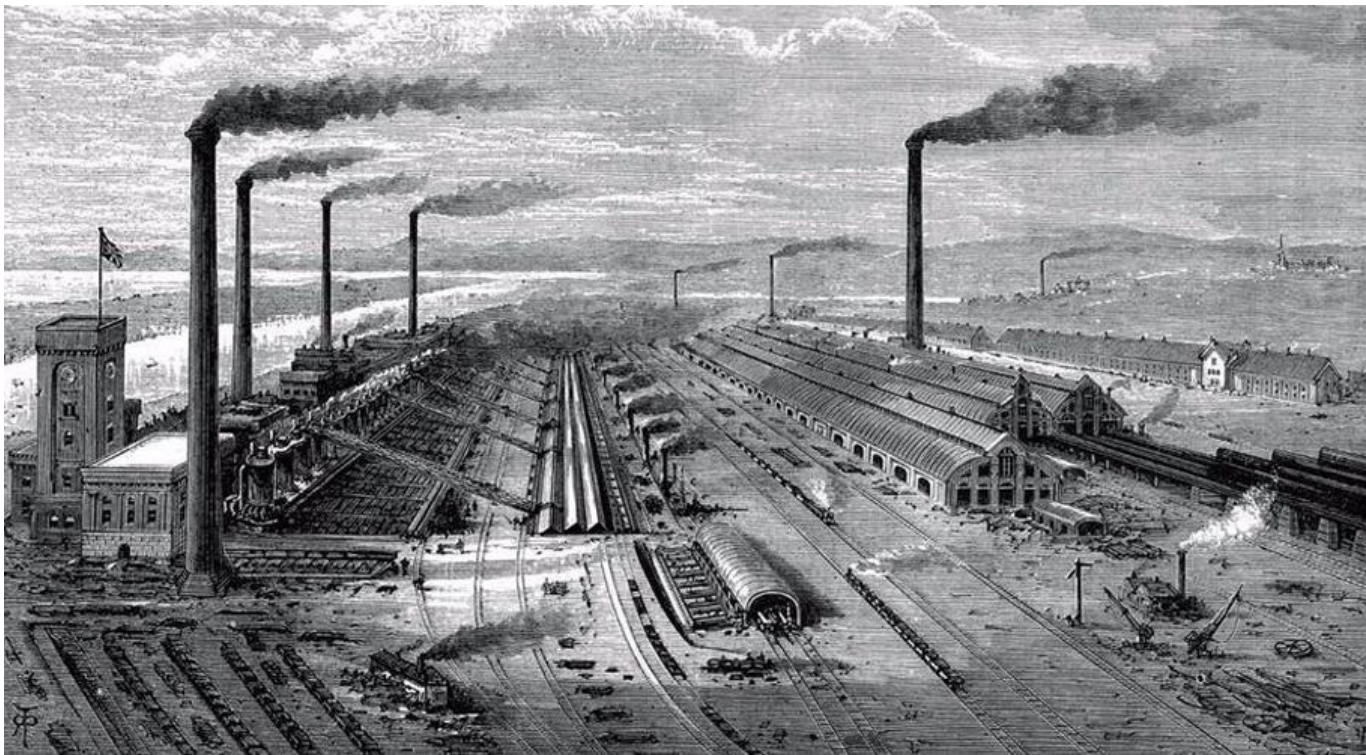
---

- 1733 年 飞梭 John Kay
- 1763 年 蒸汽机 James Watt
- 1764-1765 年 珍妮纺纱机 James Hargreaves
- 1779 年 骡机 Samuel Crompton
- 1785 年 原始动力织机 Edmund Cartwright
- 1789 年 羊毛梳理机 Edmund Cartwright
- 1825 年 第一条铁路（机车）
- 电报通信、炸药、摄影、打字机、发电机等。



# 第二次工业革命

- 电力  
大规模生产  
装配线



# 第三次工业革命



# 第四次工业

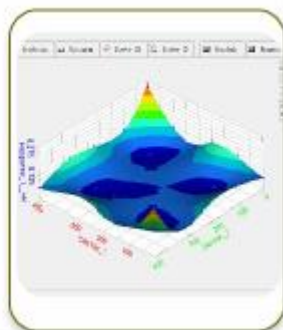
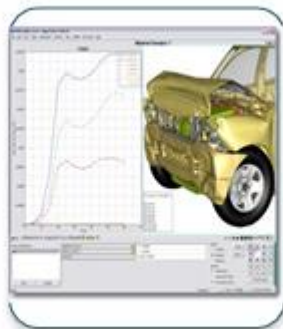
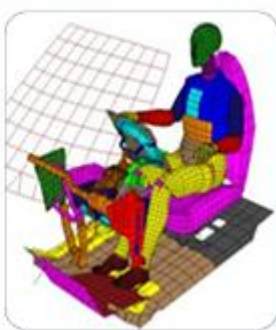
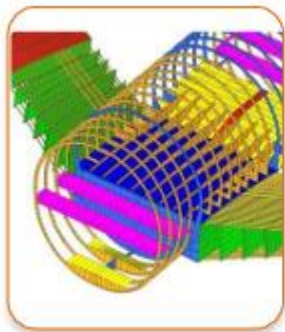
- 革命
- 信息物理系统





# 基本步骤

- 基本上，4IR 可以概括为以下步骤：
- 虚拟原型（例如数字原型）
- 数字化制造
- 物理原型或产品
- 智能服务（例如产品生命周期管理）



# Traditional vs Digital Manufacturing

Traditional



2D Prints are made manually

Prototype is constructed based on 2D prints

Testing takes place

Review and redesign

Generated data is stored physically

Digital

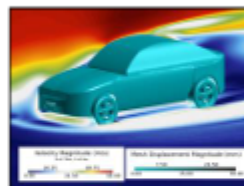


3D Model is created

Part is simulated in digital environment

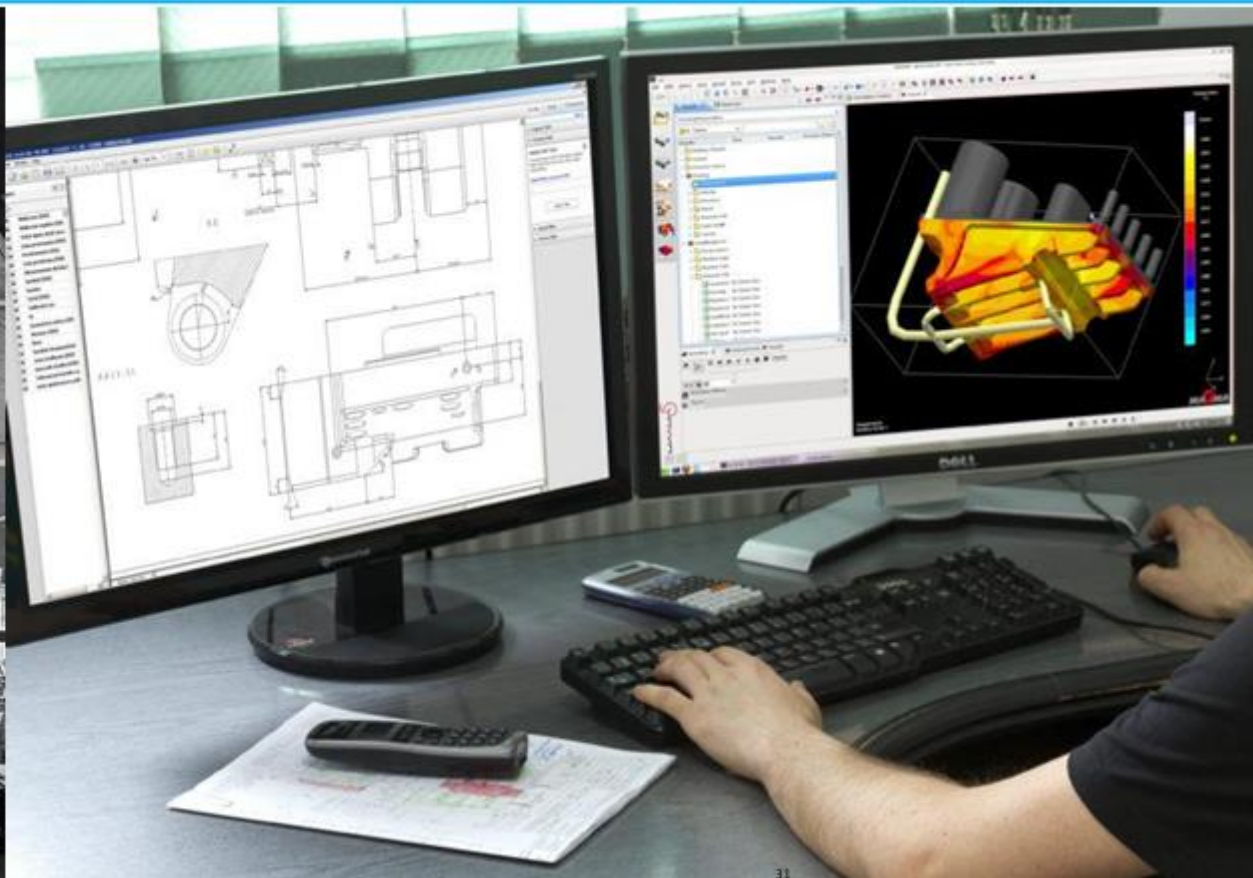
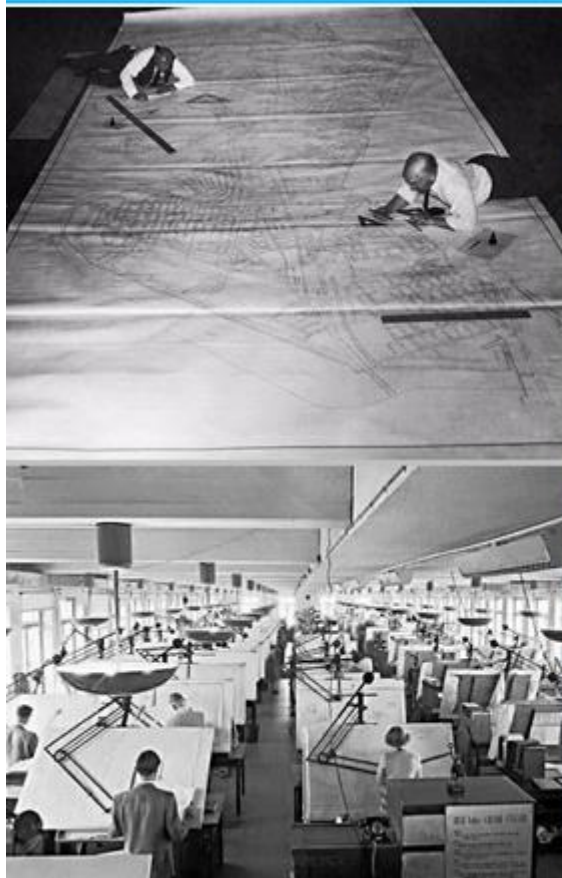
Part is optimized digitally

Generated data is stored digitally



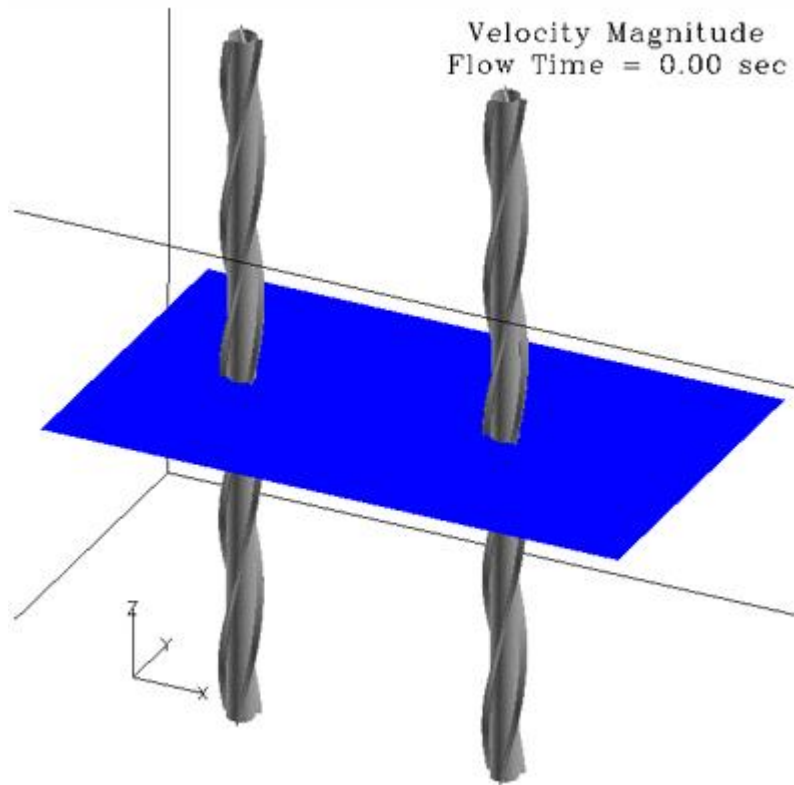
3D printing and CNC machining

# 传统制造与数字化制造



# 主要优势

- 快速生产
- 高性能原型与生产力
- 实时库存监控
- 成本降低
- 接近现实的测试
- 市场成功可预测性
- 速度大小 流动时间 = 0.00 秒



# 工业 4.0 的支持技术（一些关键词）

---

- 信息物理系统 (CPS)
- 数字孪生[3]
- 数字孪生是使用物理数据、虚拟数据以及它们之间的交互数据对产品生命周期中所有组件进行的实时映射
- 物联网 (IoT)
- 大数据/云/区块链
- 人工智能 (AI)
- 高性能计算 (HPC)
- 5G 通信
- 虚拟现实 (VR) 和增强现实 (AR)



# 工业 4.0

---

- 大数据
- 仿真
- 增强现实
- 系统集成
- 增材制造
- 物联网
- 云计算
- 网络安全
- 自主机器人

# 讨论：

---

- COVID-19 如何影响工业 4.0? [4,5]
- 什么是工业 1.0 到 5.0? [6,7]
- 工业 4.0 应对 COVID-19 疫情
- 智能工业就绪指数 (SIRI)
- 为什么第一次工业革命始于英国?
- 中国/英国/欧盟在工业 4.0 起步阶段的地位如何?

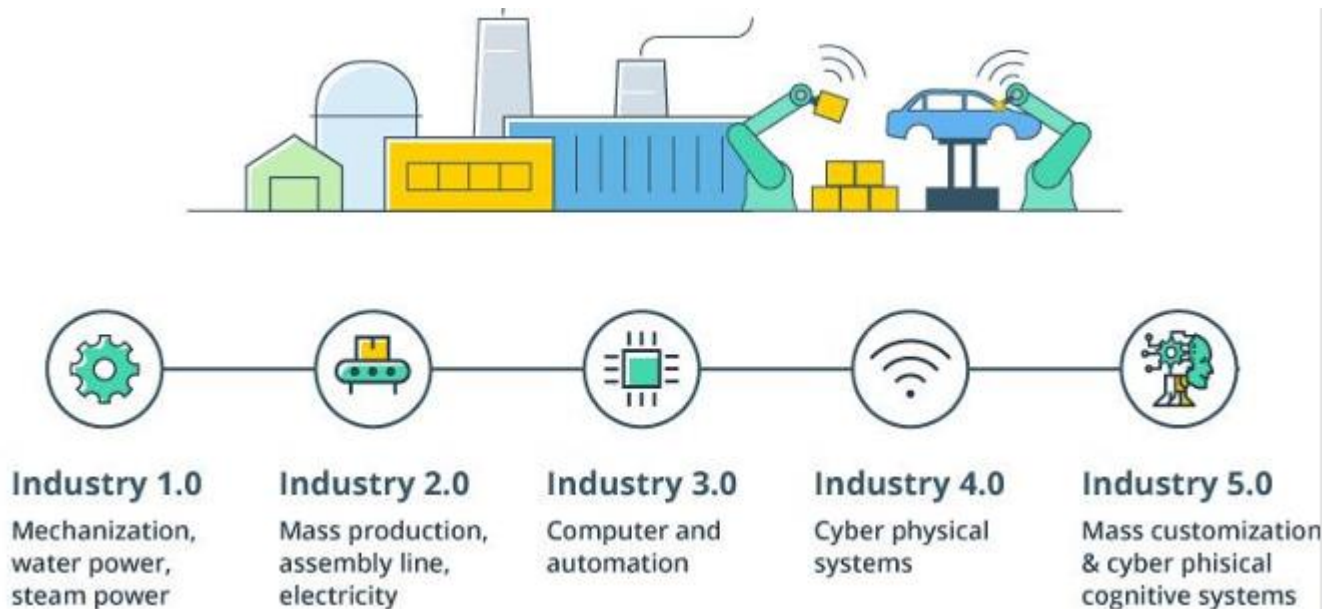
# 提示 1: COVID-19 如何影响工业 4.0?

---

- 规划与 COVID-19 相关的活动
- 在不给医疗保健和其他工作者带来风险的情况下提供更好的体验
- 制造与这种病毒相关的预防性物品
- 使用智能供应链及时提供医疗部件
- 使用基于机器人的感染患者治疗以降低医生风险
- 使用虚拟现实进行培训
- 推广灵活的治疗工作环境
- 这些数字技术帮助人们在封锁期间进行日常工作

## 提示 2: 工业 1.0 到 5.0[6,7]

- **工业 5.0 = 工业 4.0 + 人工智能/人在回路的**
- 工业 4.0 :: 机器人能力 + 物联网(信息物理系统)  
工业 5.0 :: 机器人-人类交互

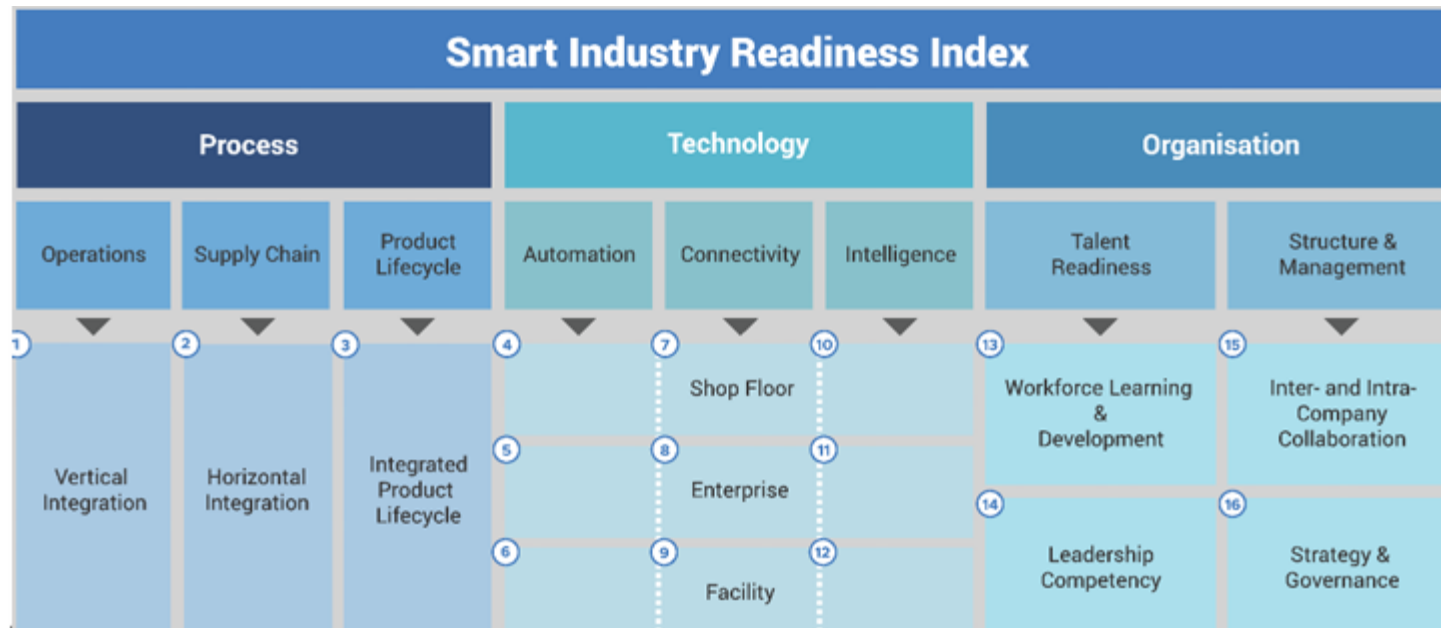


# 使用工业 4.0 的支持技术，我们可以：

- 智能设备：个人防护装备(自清洁口罩)/呼吸机/快速表面消毒设备
- 协作系统
- 安全工作场所
- 员工健康远程监控
- 支持一线工作者
- 安全出行
- 动态距离标记
- 可持续的 COVID 产品
- 改变呼吸机以适应不同的医疗目的
- 个人防护装备材料回收
- 社会影响
- 促进积极思维的推动者
- 基于年龄、健康指数、基于种族的韧性、空气污染和人口密度预测病毒传播的模型。

## 提示 4. 智能工业就绪指数 (SIRI)[10]

- 智能工业就绪指数 (SIRI) 框架 - 催化制造业向工业 4.0 转型



# 提示 5. 为什么第一次工业革命始于英国？

[11-13]

- 工业革命首先于 1700 年代在英国开始。  
历史学家已经确定了工业革命首先在英国开始的几个原因，包括：
- **农业革命的影响**
- **大量的自然资源供应（煤炭、棉花）**
- **国家的地理位置**
- **积极的政治气候、稳定的政府和经济**
- **庞大的殖民帝国（市场）**
- **发明与创新**

## 提示 6. 中国在工业 4.0 起步阶段的地位如何?

[14]

- 正如官方数字所证明的那样，今年 2 月中国的工厂活动以有记录以来最快的速度收缩。[14]
- 中国是工业 4.0 的第一个领跑者吗[15]?



# 参考文献

---

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/Industry\\_4.0](https://en.wikipedia.org/wiki/Industry_4.0)
- [2] <https://www.industryweek.com/technology/digital-manufacturing/factory-future-here-today>
- [3] [https://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_twin](https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_twin)
- [4] How COVID-19 is Affecting Industry 4.0 and the Future of Innovation, <https://transmitter.ieee.org/how-covid-19-is-affecting-industry-4-0-and-the-future-of-innovation/>
- [5] Industry 4.0 technologies and their applications in fighting COVID-19 pandemic, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7180383/>
- [6] Welcome to Industry 5.0, <https://www.qualitymag.com/articles/95450-welcome-to-industry-50>

# 参考文献

---

- [7] Will-Industrial-Robots-Play-a-Role/99
- [8] Yi Chen, Yun Li, (2018), Computational Intelligence Assisted Design (In the Era of Industry 4.0), CRC Press (ISBN 978-1-4987-6066-9)  
[https://www.crcpress.com/Computational-Intelligence-Assisted-Design-In-the-Era-of-Industry-40/Chen Li/p/book/9781498760669](https://www.crcpress.com/Computational-Intelligence-Assisted-Design-In-the-Era-of-Industry-40/Chen-Li/p/book/9781498760669)
- [9] The benefits of digitalisation for the UK Automotive Industry.  
[https://www.smmmt.co.uk/wp-content/uploads/sites/2/smmmt\\_the-digitalisation-of-the-uk-auto-industry\\_kpmg-apr-2017.pdf](https://www.smmmt.co.uk/wp-content/uploads/sites/2/smmmt_the-digitalisation-of-the-uk-auto-industry_kpmg-apr-2017.pdf)
- [10] The Smart Industry Readiness Index (SIRI) Framework - Catalysing the transformation of manufacturing, 2020, Singapore Economic Development Board.  
[www.edb.gov.sg](http://www.edb.gov.sg)

# 参考文献

---

- [11] Why Was Britain The First Country To Industrialize?  
<https://www.historycrunch.com/why-was-britain-the-first-country-to-industrialize.html#/>
- [12] Why Did the Industrial Revolution Start in Britain?  
<https://interestingengineering.com/innovation/why-did-the-industrial-revolution-start-in-britain>
- [13] The Beginning of the Industrial Revolution  
<https://www.studentsofhistory.com/why-the-industrial-revolution-began-in-england>
- [14] <https://www.cushmanwakefield.com/en/insights/covid-19/lessons-from-china/looking-beyond-covid-19-going-for-industry-4-0-in-china>

# 参考文献

---

- [15] 4-0/ <https://asiatimes.com/2021/06/china-is-first-out-of-the-gate-to-industry>
- [16] The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond  
<https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
- [17] A review Cyber of Industry 4.0 (Cyber-Physical Systems (CPS), the Internet of Things (IoT) and the Internet of Services (IoS)): Components, and Security Challenges. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1424/1/012029>

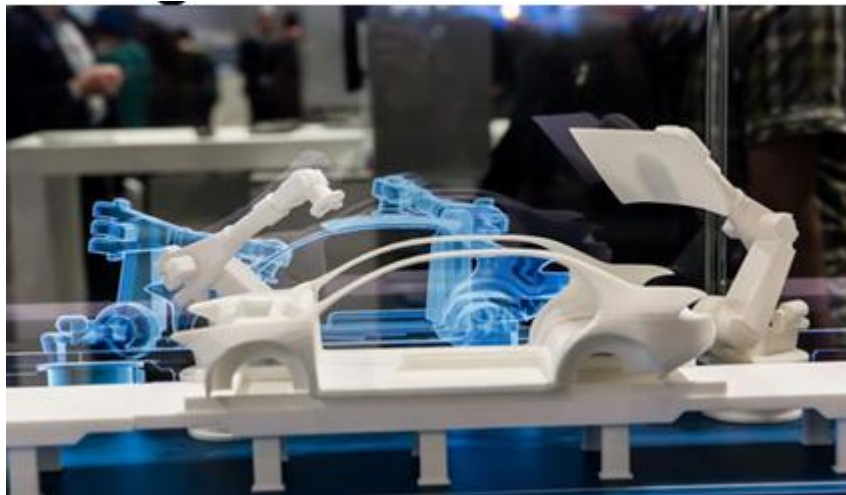
# 参考文献

---

- [18] [19] Top 7 Manufacturing Trends for 2022 <https://blog.isa.org/cyber-physical-systems-the-core-of-industry-4.0> <https://www.beekeeper.io/blog/manufacturing-trends/>
- [20] The top 8 latest trends in manufacturing for 2022 <https://www.advancedtech.com/blog/manufacturing-trends/>
- [21] <https://www.gray.com/insights/sustainable-manufacturing-is-the-wave-of-the-future>

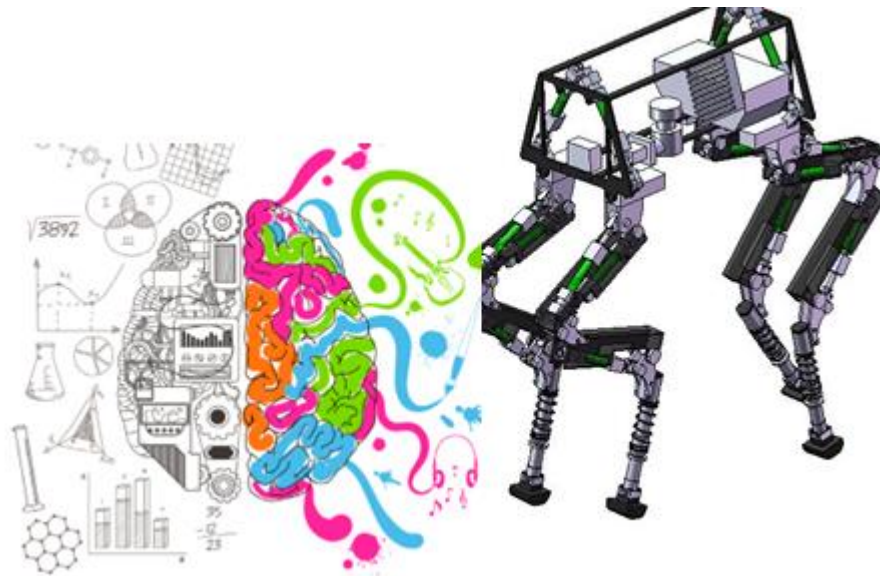
# 章节内容

- 工业 4.0 (i4)
- **数字孪生**
- 人工智能驱动的数字化制造迈向 i4.0
- 各行业中的 i4



# 内容

- 什么是数字孪生
- 它是如何工作的
- 主要优势
- 支持技术
- 教程
- 课程作业
- 常见问题解答
- 参考文献
- 附录

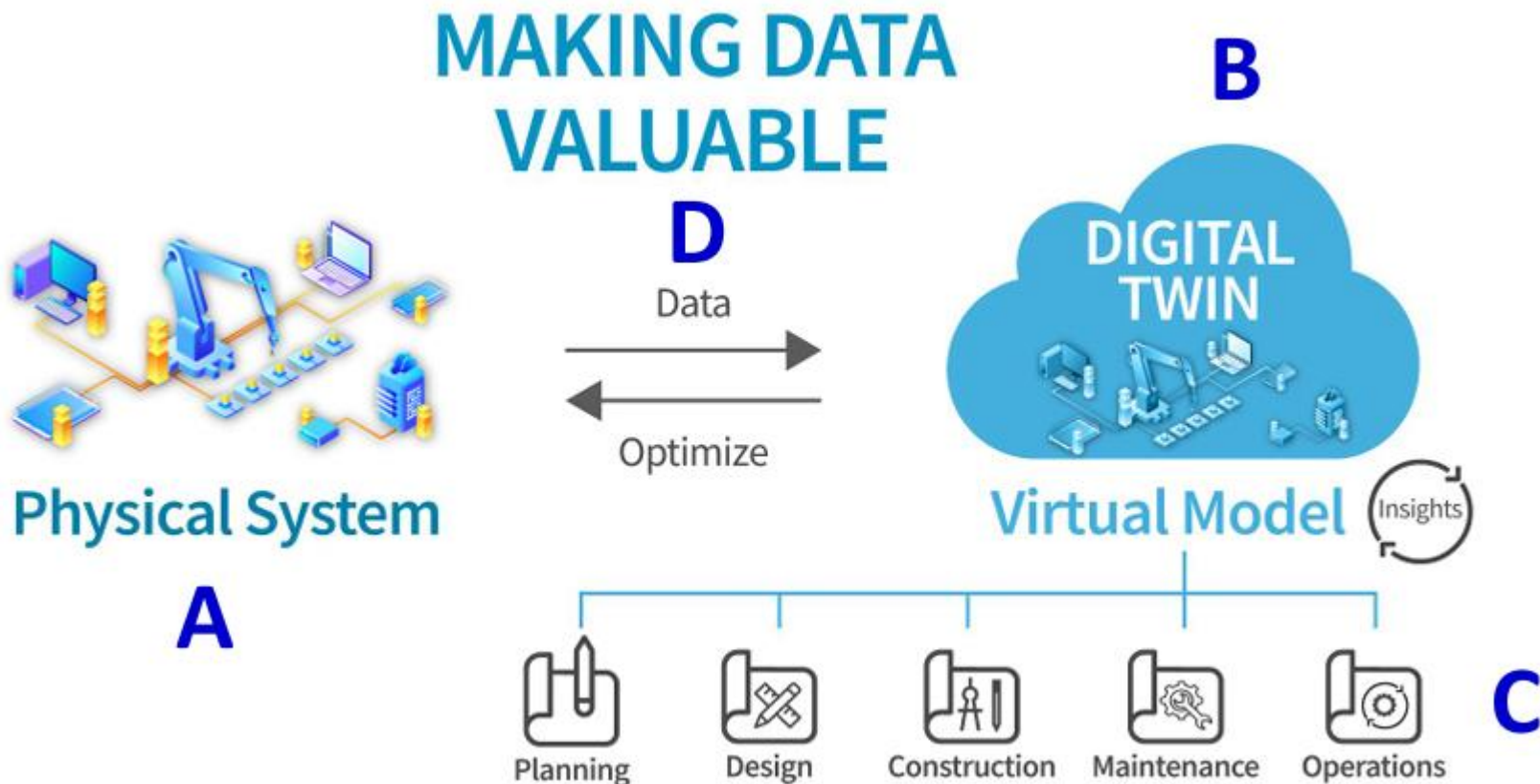


# 什么是数字孪生

- 数字孪生是使用物理数据、虚拟数据以及它们之间的交互数据对产品生命周期中所有组件进行的实时映射。
- "数字孪生"一词由 Michael Grieves 博士于 2002 年创造。然而，在当时，实施这一概念并使其普及既困难又昂贵。
- 这种情况在 2010 年代发生了变化，随着物联网、人工智能、大数据和云计算的发展



# 它是如何工作的



# 它是如何工作的

- A 使用传感器收集状态、工作条件和位置的实时数据的智能组件被集成到物理项目中。
- B 这些组件连接到基于云的系统，该系统接收并处理传感器监测的所有数据。此条目根据业务和其他上下文数据进行分析。
- C 在虚拟环境中吸取经验教训并发现机会，这些经验教训和机会可以应用到物理世界。数字孪生也可以被描述为真实产品、过程或服务的虚拟模型，可以对其进行监控、分析和改进。该模型使用计算机辅助工程创建，并与物联网、机器学习和大数据分析集成。
- D 它是一个"活的"动态对象的虚拟原型，这意味着只要其物理孪生体发生变化，它就会更新。它还能够学习，吸收人员、机器及其存在环境的知识。  
(人工智能/人在回路的)

# 数字孪生的三个要求

- 具有与原始对象相同的外观，包括所有微小细节。
- 在操作过程中行为方式与原始对象相同。
- 分析有关原始对象优缺点的信息，预测可能出现的问题，并提出解决方案。



# 数字孪生的类型 [2]

---

- 产品孪生
  - 组件孪生 / 部件孪生
  - 资产孪生
- 过程孪生
- 系统孪生

# 产品孪生

---

- 制造商在建立生产线之前很久就使用特定产品的虚拟原型来**分析**它将在**不同条件下如何执行**以及**可能出现什么问题**。
- 这允许您进行必要的**调整**并创建**更高效的设计**。因此，产品的数字孪生有助于降低生产成本和**上市时间**，同时提高**质量**。
- 产品孪生也可用于**控制**产品在**物理世界**中的性能。

# 过程孪生

- 这些模型**模拟制造过程**。虚拟生产过程可以创建**不同的场景**并显示在不同情况下会发生什么。这使公司能够开发**最高效的生产方法**。
- 可以通过为所涉及的每个设备部件使用产品孪生来**优化**该过程。因此，公司将能够进行预防性维护，避免代价高昂的停机时间。制造运营将**更安全、更快速、更高效**。

# 系统孪生

---

- 这些是**所有系统的虚拟模型**。它们收集系统和设备产生的海量运营数据，获得洞察力，并创造优化流程的新机会。

# 主要优势

- 加速风险评估和生产时间
- 预测性维护
- 实时远程监控
- 更好的团队协作
- 更好的财务决策





# 实施数字孪生前需考虑的事项[2]

- **更新您的数据安全协议**

公司应在采用数字孪生技术之前评估并更新其安全协议。

- **管理您的数据质量**

希望实施数字孪生技术的公司必须能够排除不良数据并管理数据流中的空白。

- **培训您的团队**

公司需要确保其员工具备使用数字孪生模型所需的技能和工具。

## 4. 支持技术 [3]

### 云平台

高数据量  
分析能力  
集成 API

### 物联网

连接资产  
扩展网络  
远程控制

### 人工智能

优化设计  
预测性维护  
自适应行为

### 区块链

安全访问  
可追溯性  
知识产权保护

### 虚拟现实

交互  
现场操作  
安全  
培训

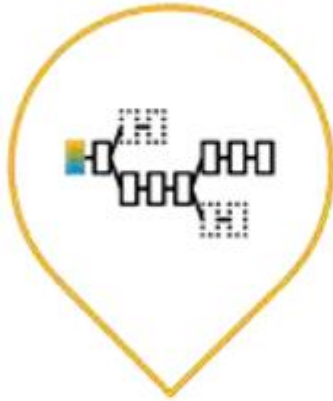
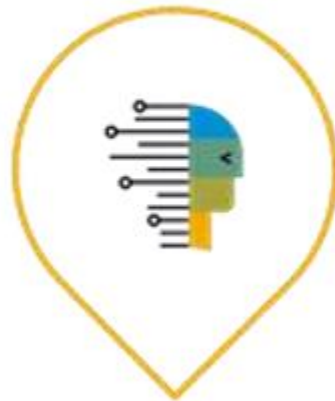
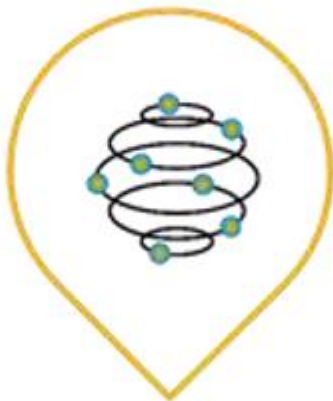
Cloud platforms

IoT

Artificial Intelligence

Blockchain

Virtual Reality



# 参考文献

- [1] If You Build Products, You Should Be Using Digital Twins  
<https://www.globallogic.com/insights/blogs/if-you-build-products-you-should-be-using-digital-twins/>
- [2] Digital Twins: what it is, how it works, and the advantages of this technology  
<https://www.mjvinnovation.com/blog/digital-twins-what-is-how-works-and-the-advantages/>
- [3] Digital Twins: where we are where we go – VI  
<https://cmte.ieee.org/futuredirections/2019/07/06/digital-twins-where-we-are-where-we-go-vi/>
- [4] Blockchain-based Digital Twins in Industry 4.0 [https://www.researchgate.net/figure/Blockchain-based-Digital-Twins-in-Industry-40\\_fig1\\_339974254](https://www.researchgate.net/figure/Blockchain-based-Digital-Twins-in-Industry-40_fig1_339974254)
- [5] Azure Digital Twins demo | Creating replicas of real-world environments  
<https://www.youtube.com/watch?v=ScmK-bKJ4MI>
- [6] How Are Digital Twins Used In Practice: 5 Real-World Examples Beyond Manufacturing  
<https://bernardmarr.com/how-are-digital-twins-used-in-practice-5-real-world-examples-beyond-manufacturing/>
- [7] Five Examples of Digital Twin Technology in Different Industries (Use Cases and Benefits)  
<https://www.softeq.com/blog/5-digital-twin-examples-in-different-industries>

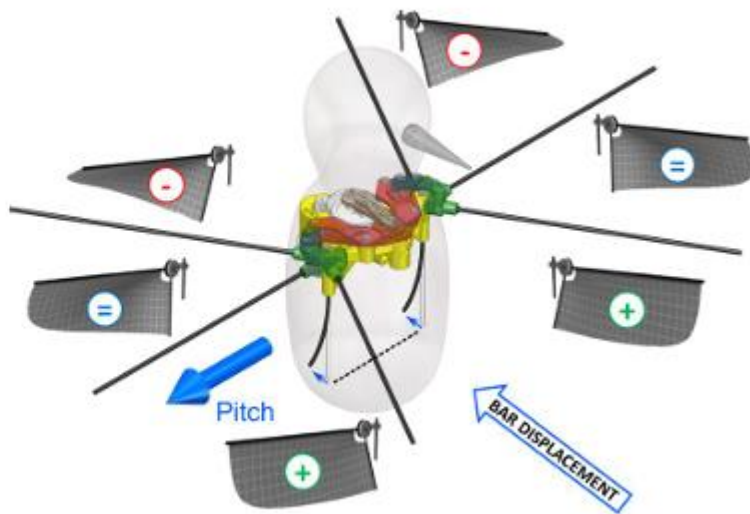
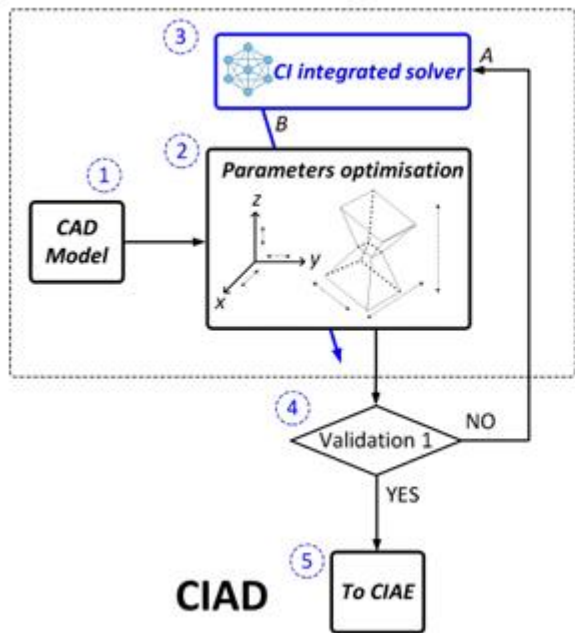
# 章节内容

---

- 工业 4.0 (i4)
- 数字孪生
- **人工智能驱动的数字化制造迈向 i4.0**
- 各行业中的 i4

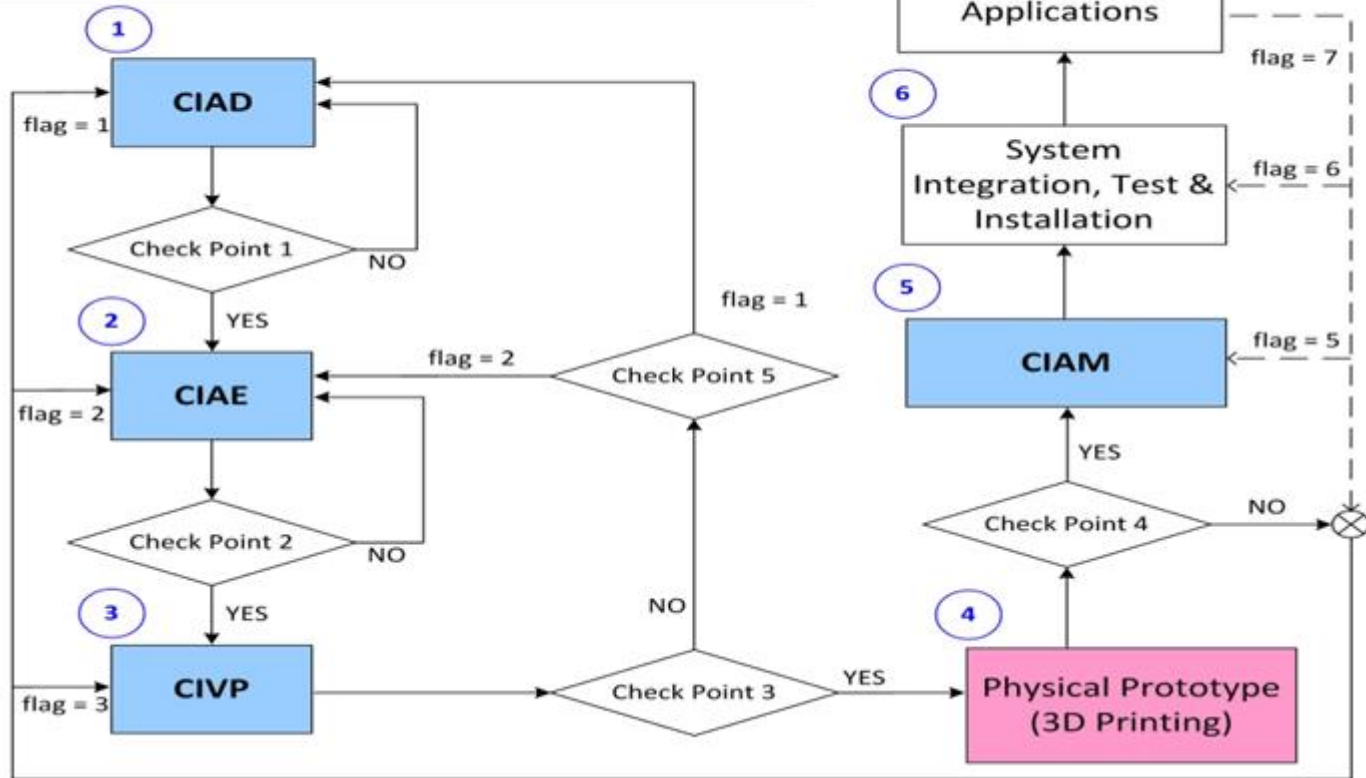
# 从两个选定的研究主题开始

- ① 计算智能辅助设计 (CIAD) [1]
- ② 一种蜂鸟式微型飞行器 (MAV)

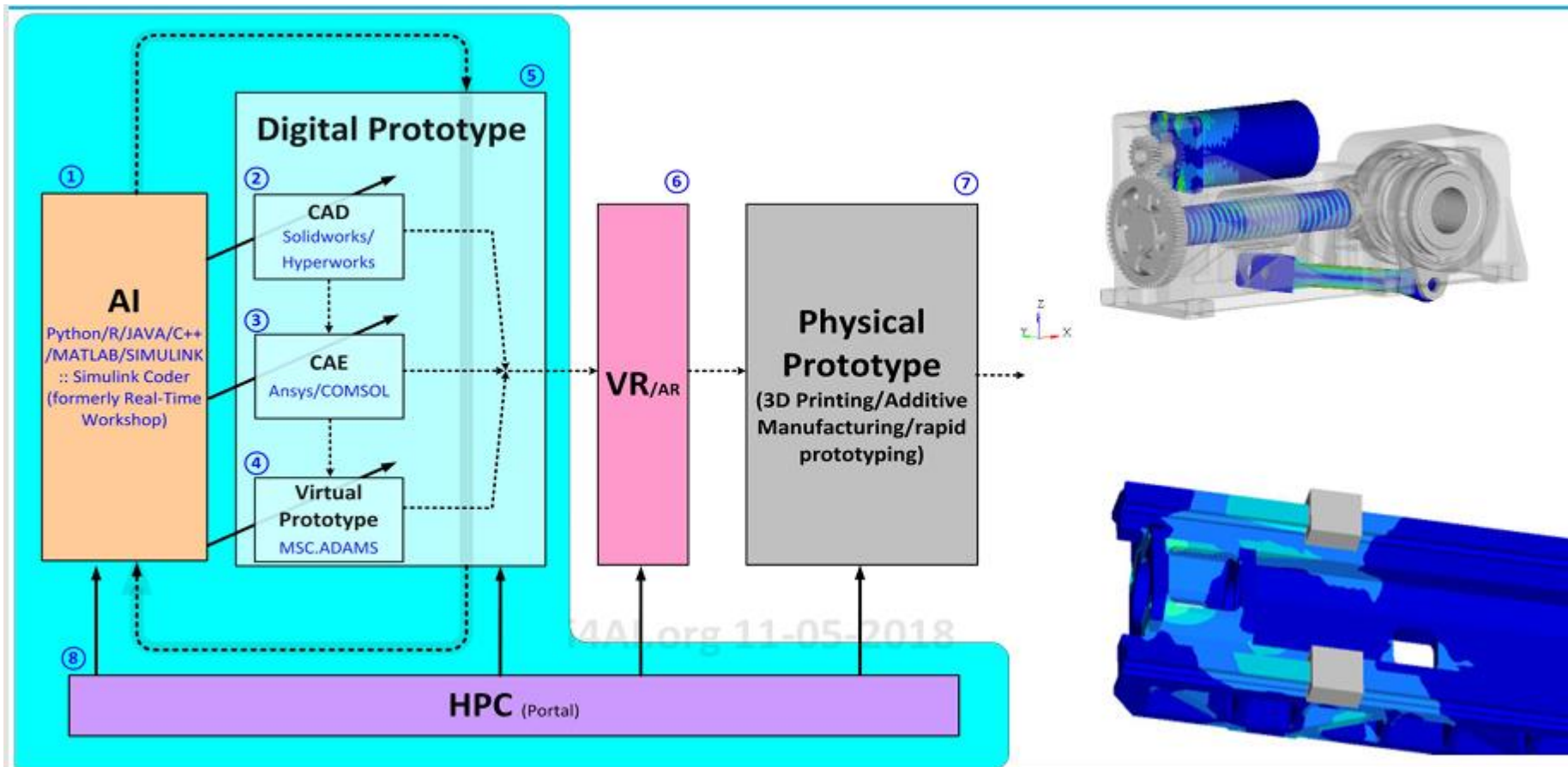


# ① CIAD

*CIAD = Computational Intelligence Aided Design*  
*CIAE = Computational Intelligence Aided Engineering*  
*CIVP = Computational Intelligence Aided Virtual Prototype*  
*CIAM = Computational Intelligence Aided Manufacturing*

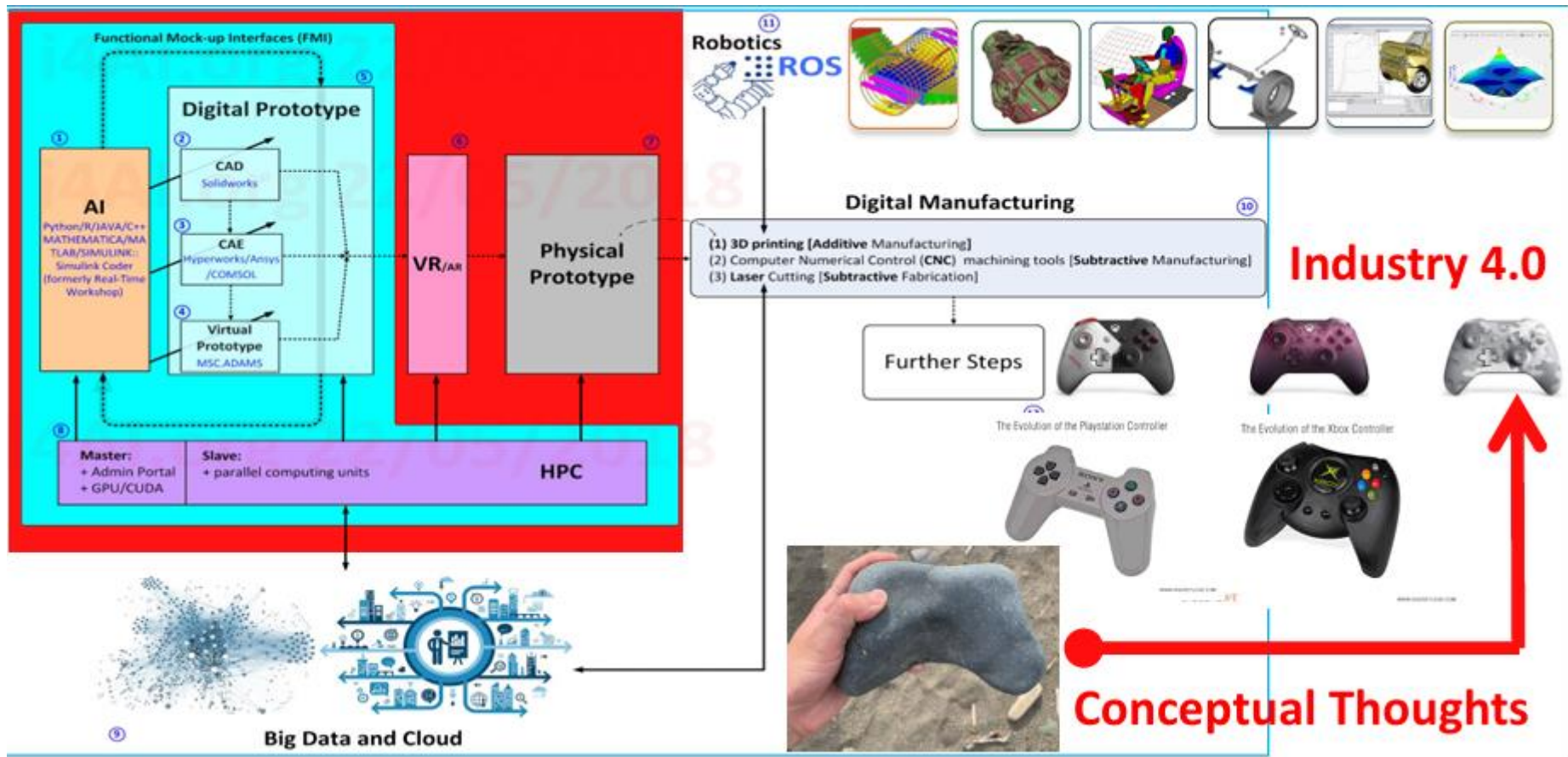


# 由 HPC 支持的 CIAD 实施





# CIAD 迈向工业 4.0 (3 个关键驱动力: AI + HPC + 大数据) + 5G





## ②MAV: 蜂鸟式微型飞行器

### ■ 应用

- 灾后救援行动
- 监测与检查
- 航空摄影与测绘
- 自主授粉（农业）



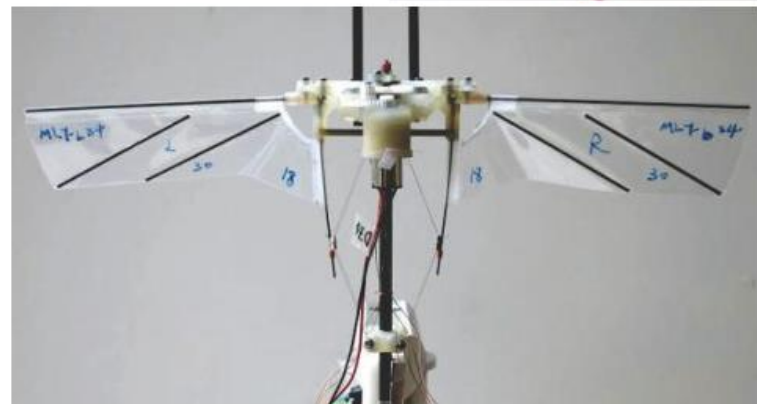
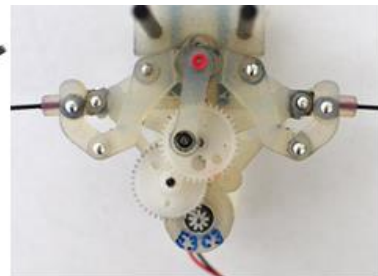
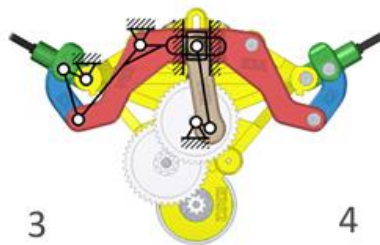
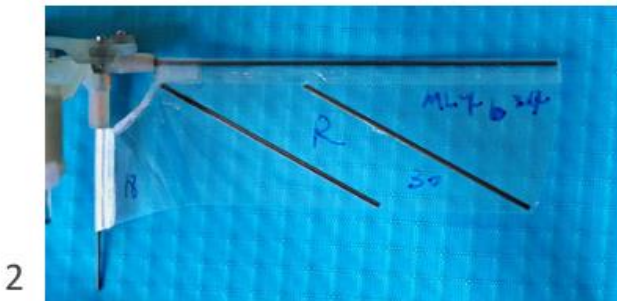
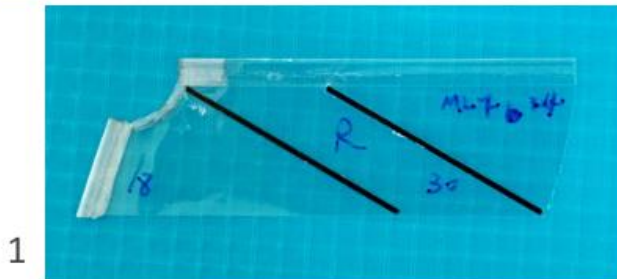
小尺寸  
能源效率  
敏捷性

# 虚拟与物理原型制作

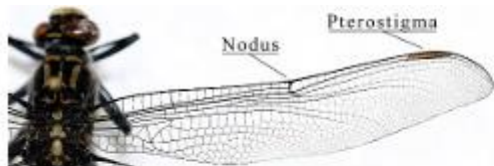
## 人工智能驱动的机器人设计

AI-driven Design for Robotics

<https://github.com/LeoYiChen/AI-plus-Micro-Air-Vehicle>



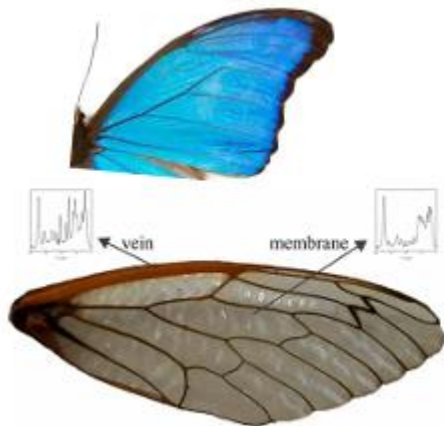
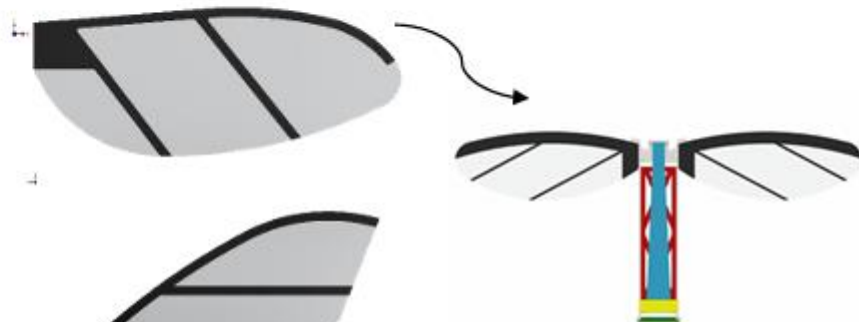
# 仿生翅膀建模



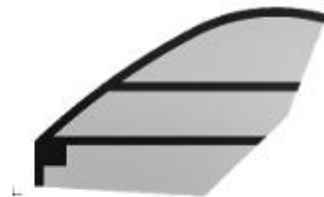
Dragonfly



Hoverfly



Butterfly

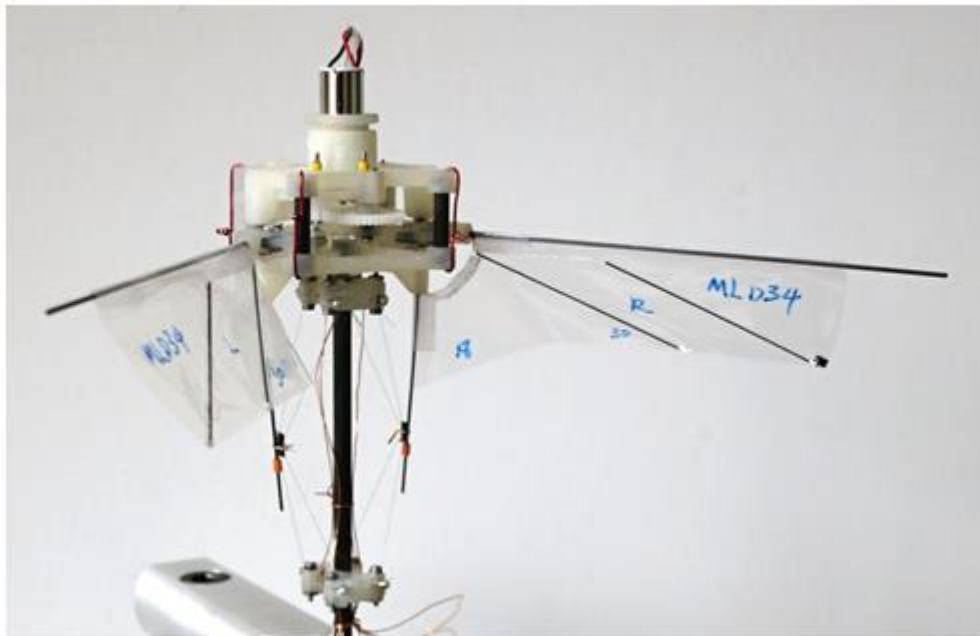


Cicada

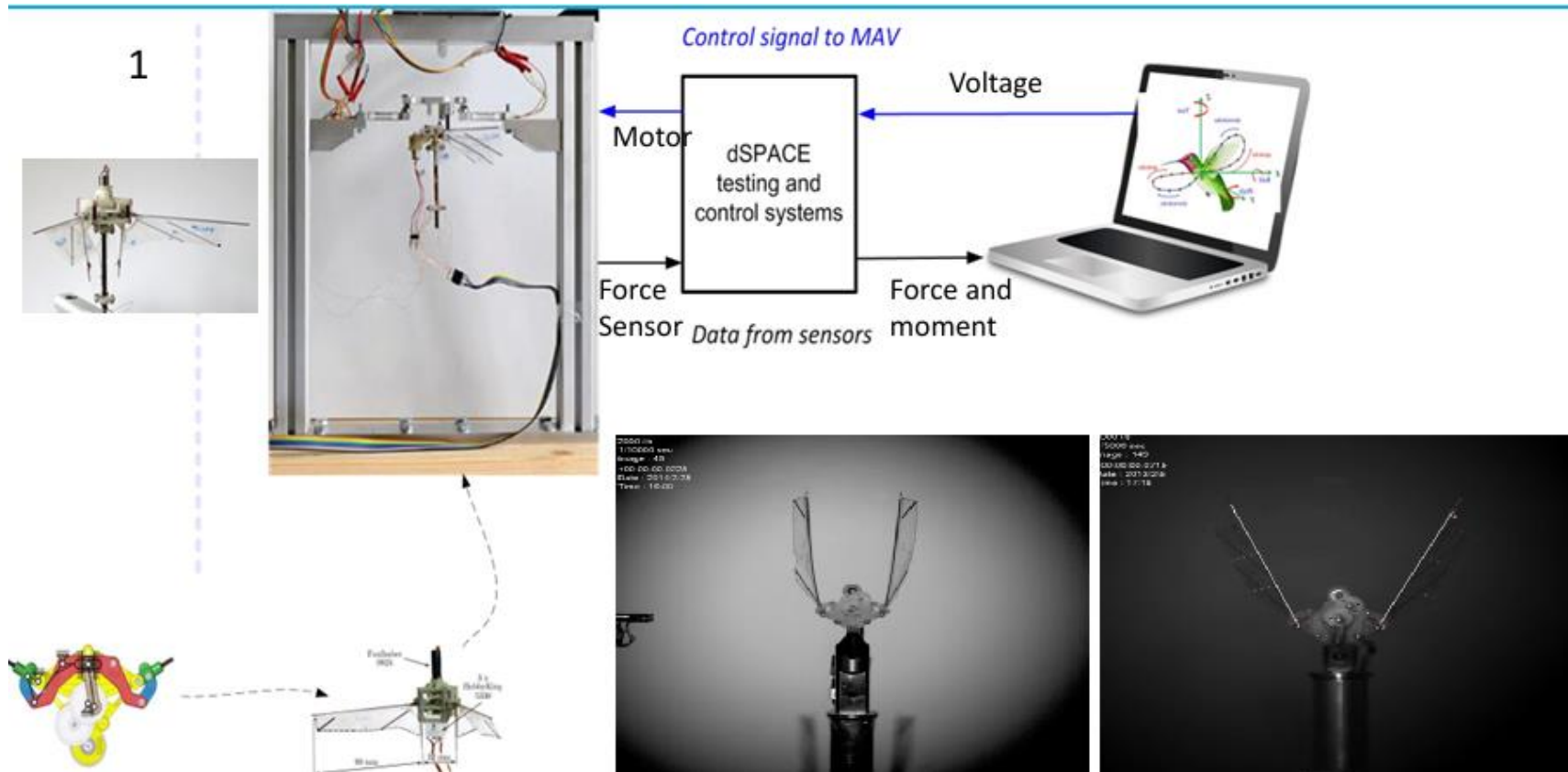


# 物理原型制作

- 3D 打印的框架和连杆
- 翅膀：聚酯薄膜 + 碳杆
- 重量 8 - 10.5 克
- 翼展 17 厘米
- 翅膀以 25 Hz 频率拍动 7 厘米
- 由 7mm 有刷直流电机 驱动
- 无航空电子设备，板外供电

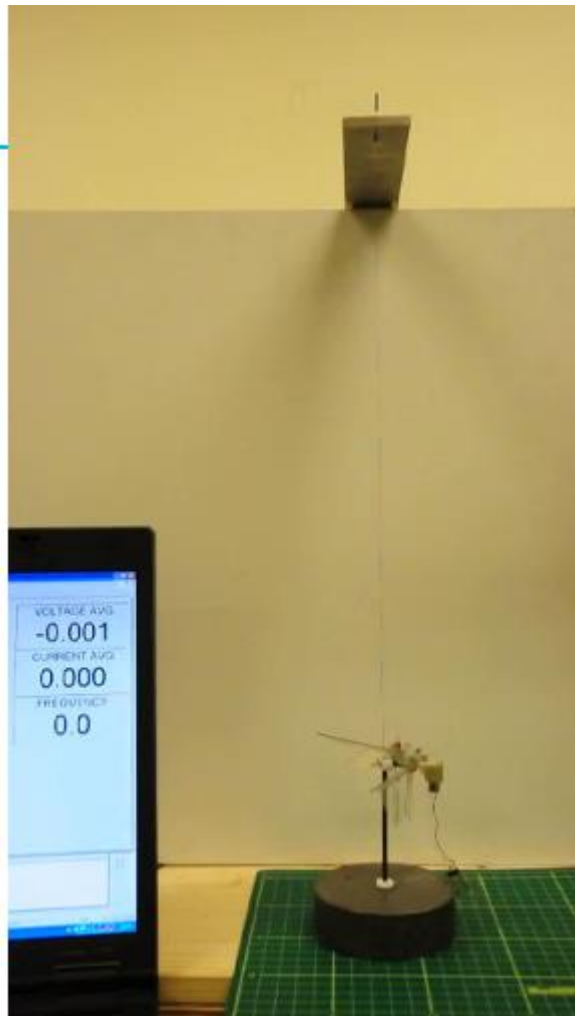


# 控制设计与实验测试



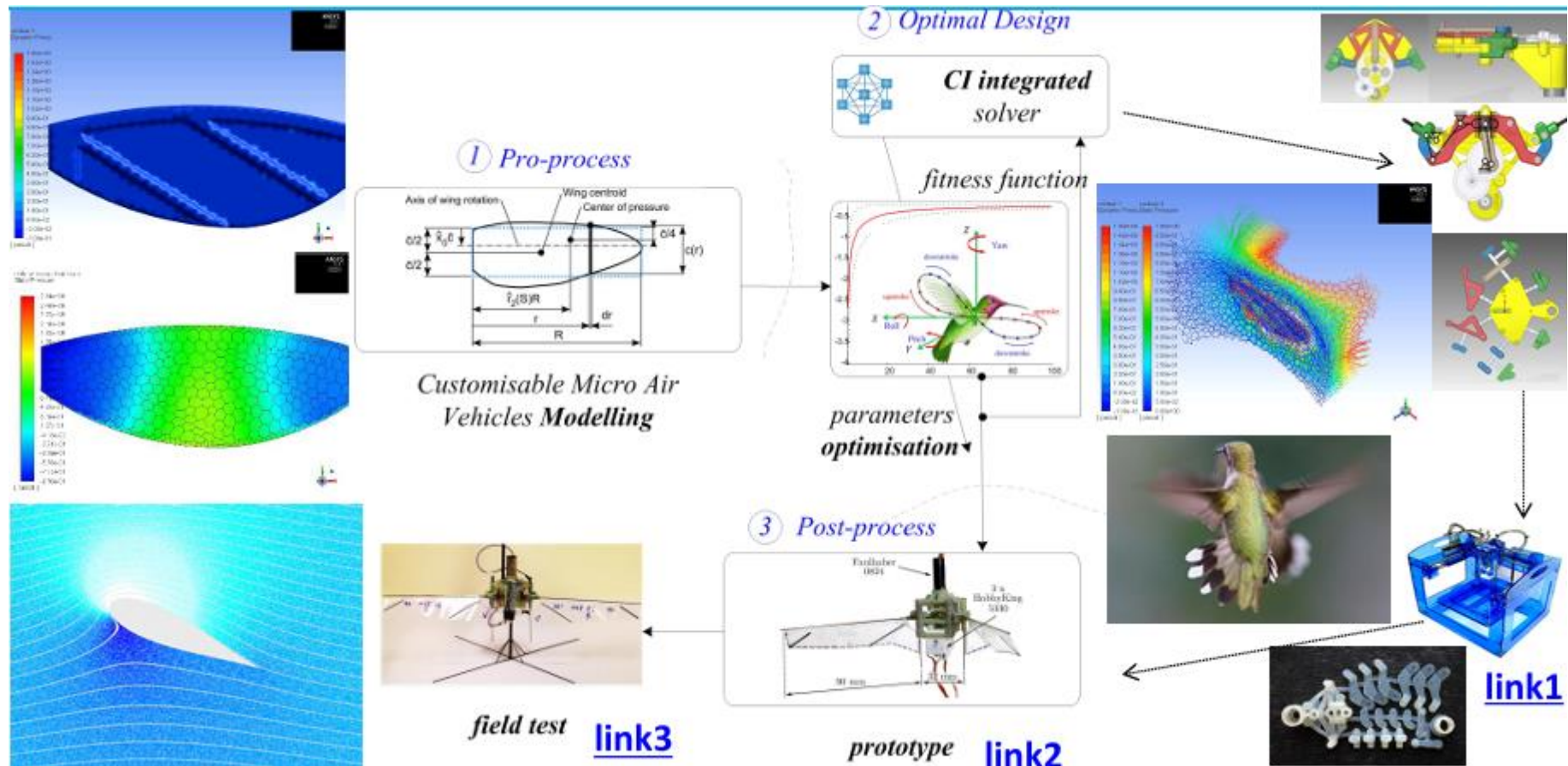
# 起飞演示

- 板外供电
- 飞行本质上是非稳定的
- 使用引导线进行稳定
- 需要滚转和俯仰力矩进行姿态稳定
- 测量参数：
  - 电机电压 ( $U_U$ )
  - 电机电流 ( $I_I$ )
  - 拍动频率( $f_f$ )
  - 升力 ( $L_L$ )





# 领域(1/2) 利用 CIAD 进行机器人数字原型制作



# 章节内容

---

- 工业 4.0 (i4)
- 数字孪生
- 人工智能驱动的数字化制造迈向 i4.0
- **各行业中的 i4**



# 全球收入排名前 10 的数字孪生公司

2019<sup>[1]</sup>

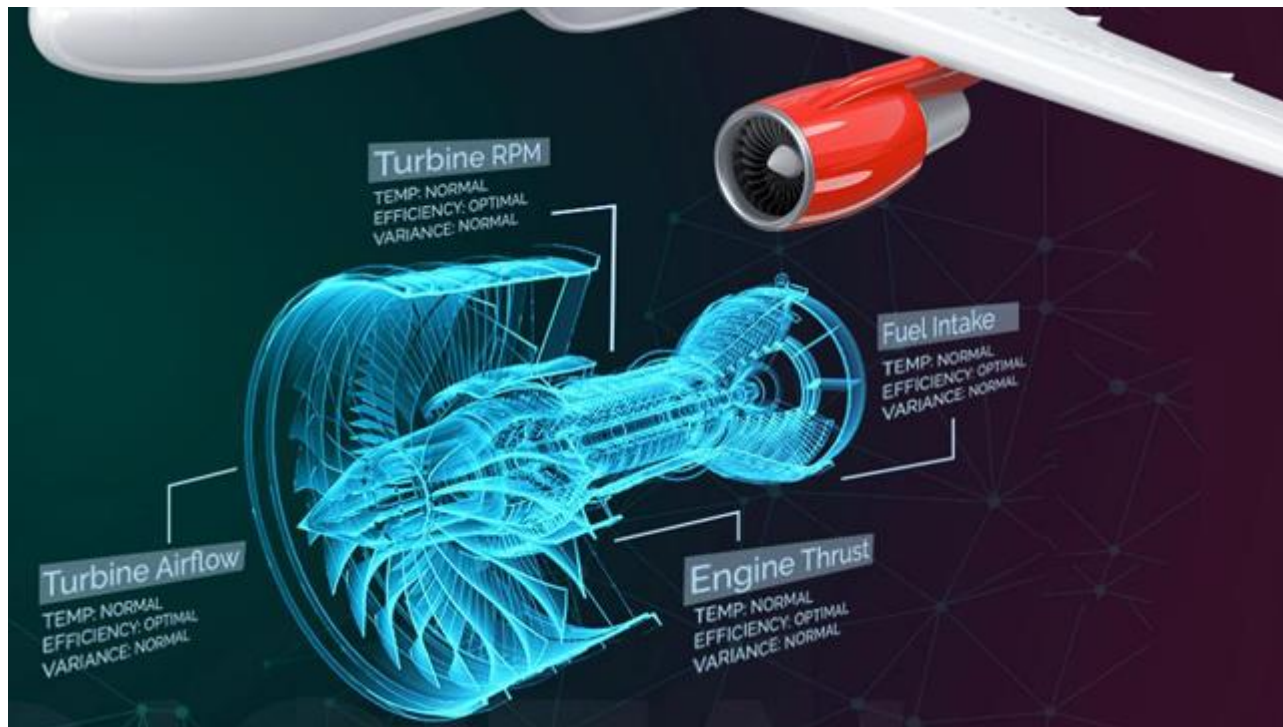
- Microsoft
- **Bosch**
- General Electric
- IBM
- **Siemens**
- Oracle
- Cisco Systems
- Dassault Systemes
- Ansys
- PTC

2021<sup>[2]</sup>

- **Bosch**
- IBM
- Ansys
- PTC
- Oracle
- Microsoft
- **Siemens**
- Dassault Systemes
- Cisco Systems
- General Electric

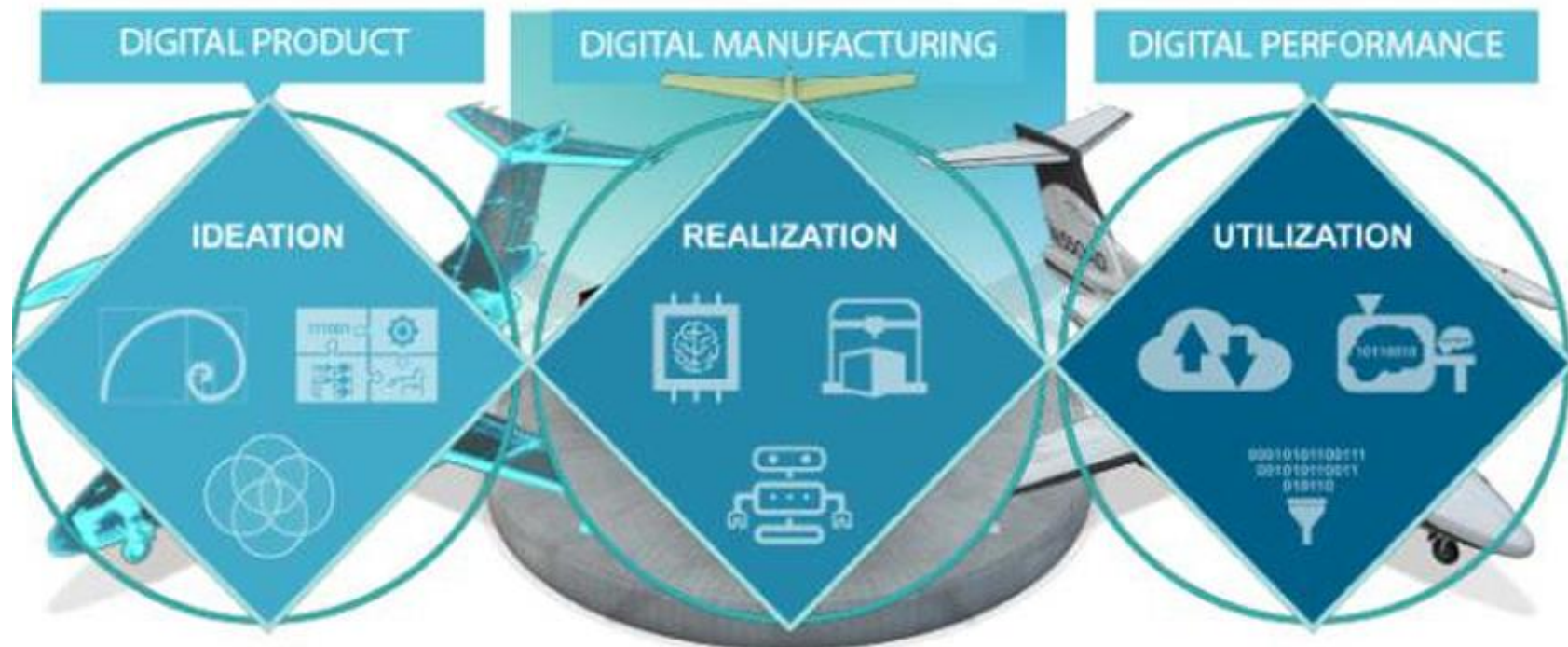
# 内容

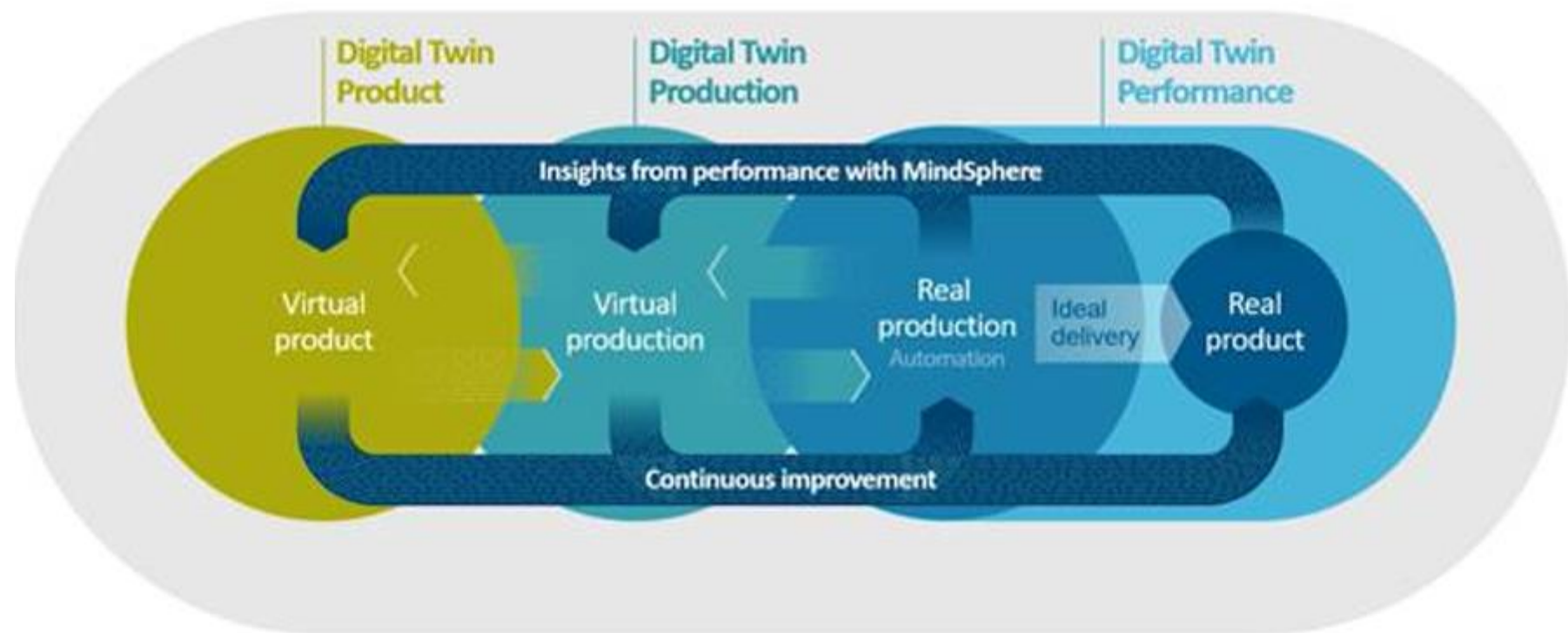
- 西门子
- 博世



# 1. 西门子[3]

## 全面而精确的数字孪生





UGS acquisition establishes software foundation for product development

Acquisition of LMS expands strategy for verification and validation of systems

Siemens establishes leadership in product and process simulation to enable digitalization

2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020

Oral  
Innotes

ETM

Active  
IBS

Preactor

Camstar

Bentley Systems

Production engineering and execution

LMS<sup>®</sup>  
ENGINEERING INNOVATION

KINEO  
PERFECT COSTING  
SOLUTIONS  
Aluminum | Steel | Stainless | Titanium

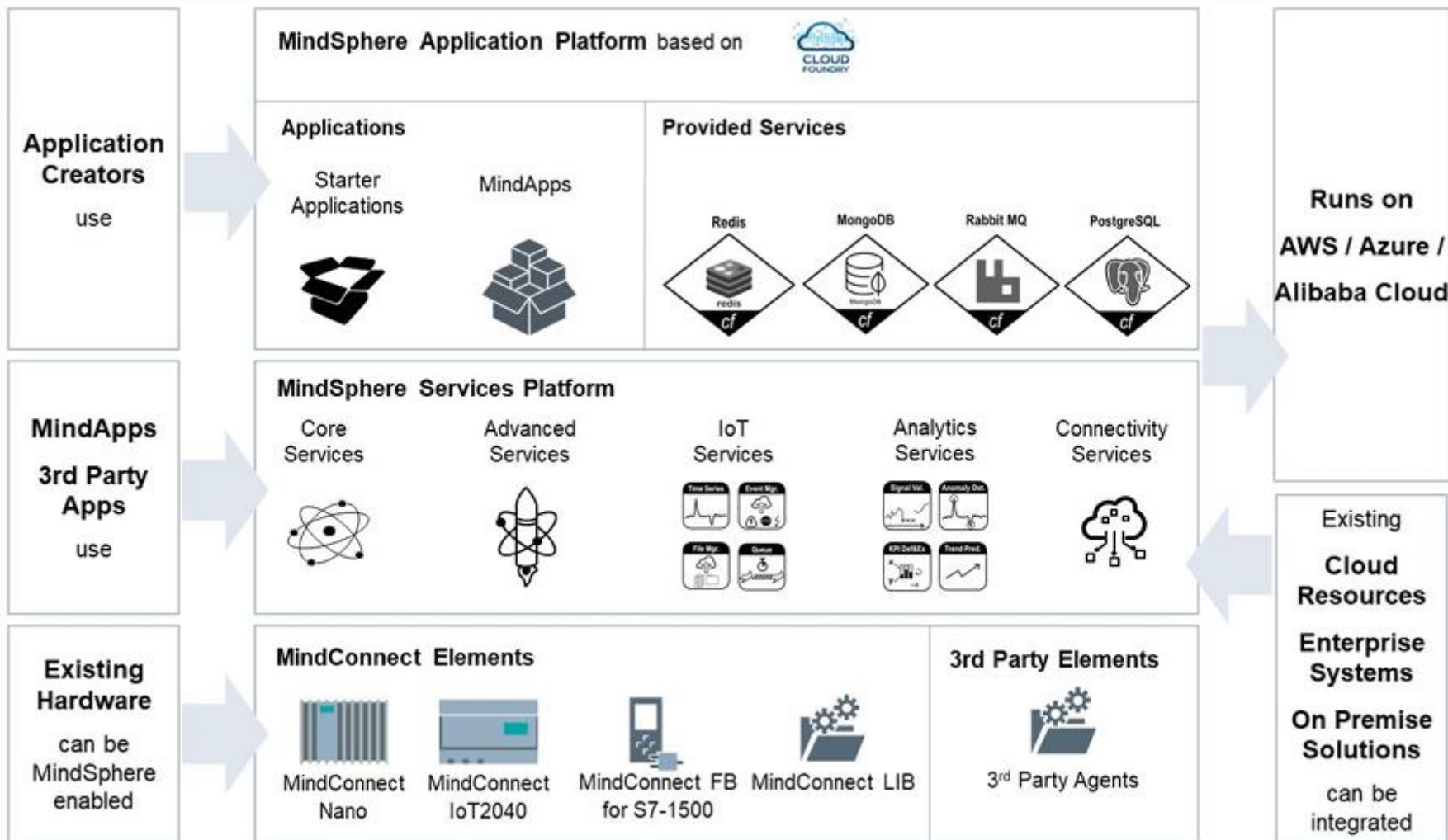
TESIS  
PLMware

VISTAGY  
engineered systems<sup>®</sup>

UGS  
The PLM Company



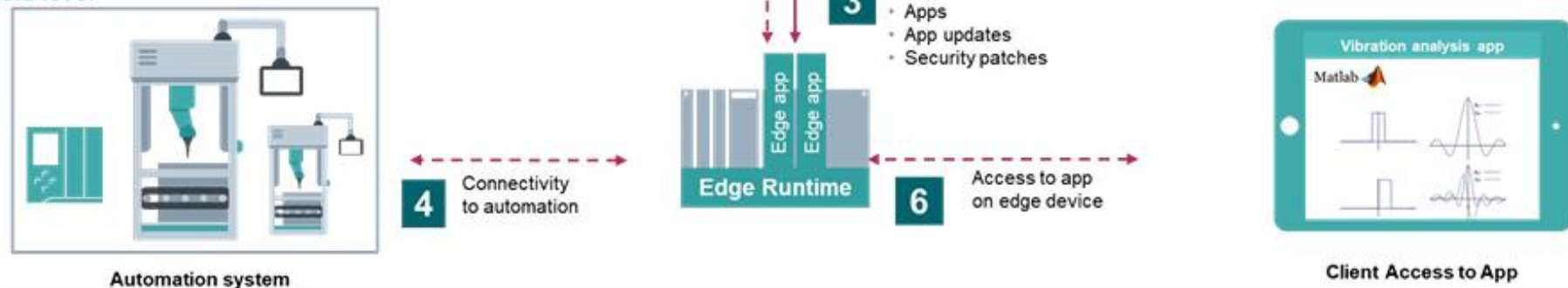


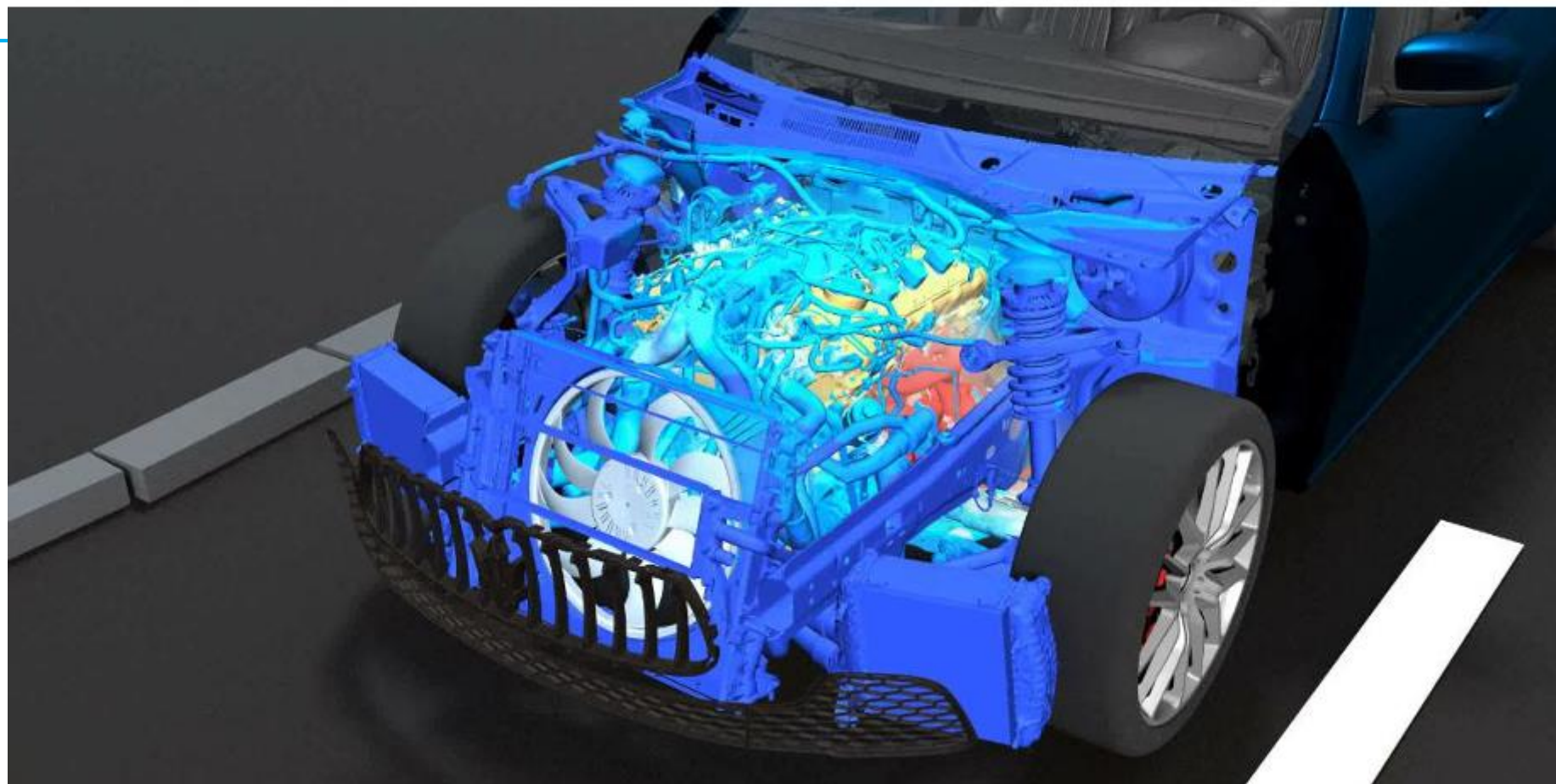


## Factory or Cloud level



## Field level





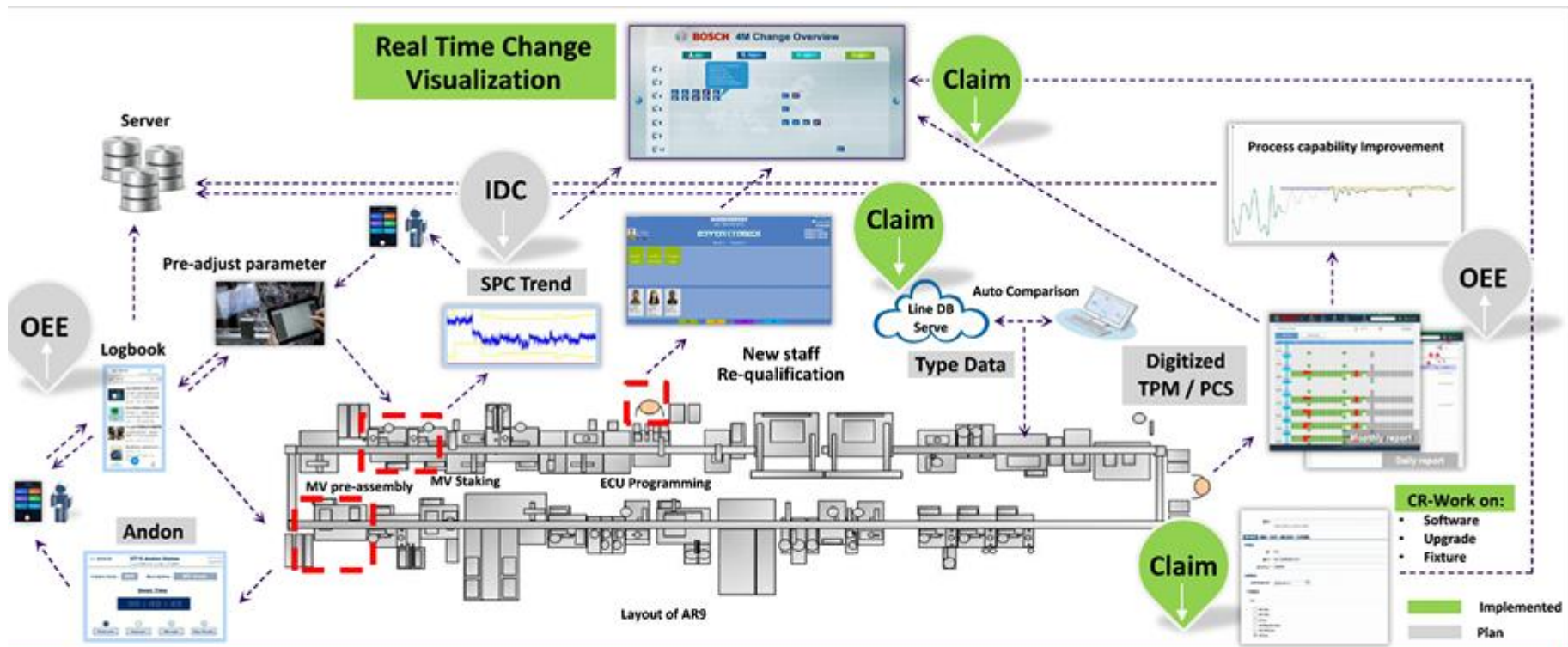




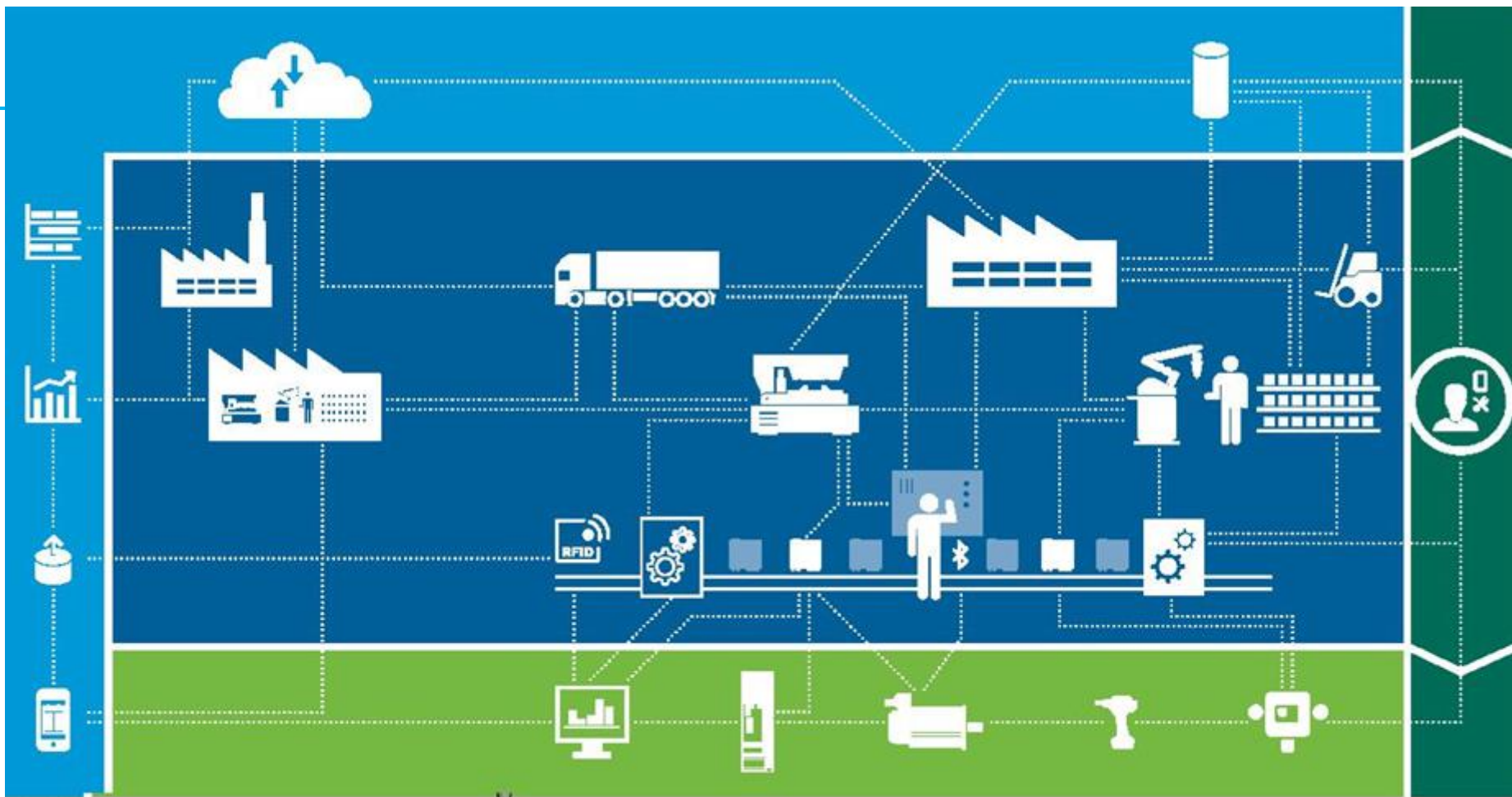
## 2. Bosch



# 车间的数字化转型：概述



Integrated digitized system offers high agility to drive operational improvement w/ high efficient way!





# 参考文献

- [1] Top 10 Digital Twin Vendors for 2019 [https://em360tech.com/business\\_agility/tech-news/top-10-digital-twin-vendors](https://em360tech.com/business_agility/tech-news/top-10-digital-twin-vendors)
- [2] Top 10 Digital Twin Companies Impacting Industry 4.0 Innovations in 2021 <https://www.emergenresearch.com/blog/top-10-digital-twin-companies-impacting-industry-4-0-innovations-in-2021>
- [3] Chunsheng, 西门子 工业软件 研究框架
- [4] Siemens Mindsphere IoT Platform <https://iot5.net/iot-platforms/siemens-mindsphere-iot-platform/>
- [5] Industrial Edge, the SIEMENS Edge Computing Platform <https://documentation.mindsphere.io/resources/html/Industrial+Edge+Developer+Environment/en-US/user-docu/industrialedge.html>
- [6] Bosch Australia Manufacturing Solutions <https://www.bosch.com.au/products-and-services/industry-and-trades/manufacturing-solutions/>
- [7] Bosch Suzhou Introduction [
- 8] Siemens Digital Factory Tour Belgium - Introduction
- [9] Industry 4.0 at Bosch Product Catalog
- [10] From lean to the digital factory – a vision becomes reality, A white paper from Bosch Industry Consulting, March 2020
- [11] Executable Digital Twin (xDT) - Exploiting Artificial Intelligence in Simulation and Test has a bright future <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/executable-digital-twin/>
- [12] 4 Myths about AI in CFD <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/4-myths-about-ai-in-cfd/>