



# 数字孪生制造新范式

——影响未来十年的先进制造技术和实践

胡权

工业4.0研究院院长、数字孪生体联盟理事长  
国家发改委数字经济新型基础设施课题数字孪生体工作组组长  
工信部工业领域评标评审专家库专家

2021年5月16日



数字孪生体联盟

# 目 录

一 先进制造需要解决什么问题？

二 全球数字孪生制造三大流派

三 打造数字孪生体 Digital twin Net

四 工业4.0研究院的探索与实践



一 先进制造需要解决什么问题？

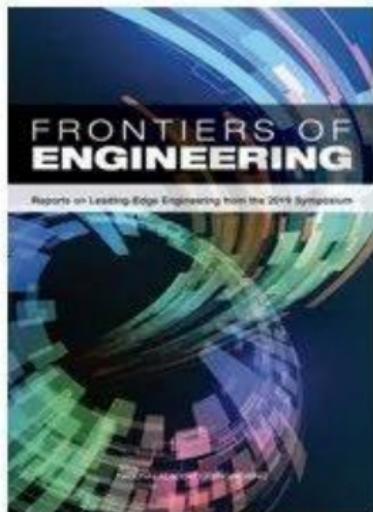
二 全球数字孪生制造三大流派

三 打造数字孪生体 DigitaltwinNet

四 工业4.0研究院的探索与实践

# 一、2019年，美国工程院发布《工程前沿》报告，指出四个关注领域，其中数字孪生体是数字化转型时代的先进制造技术

- 自2009年DARPA提出“数字孪生体”概念之后，美国科学家和工程师通力合作，解决了理论研究、工程验证（概念）、关键技术等问题。工业4.0研究院认为，数字孪生体范式基本形成。
- 美国空军研究实验室专家帕米拉·可布林回顾了数字孪生体10年发展情况，做了精彩的演讲，她判定，数字孪生体范式建设已经进入到新阶段了。



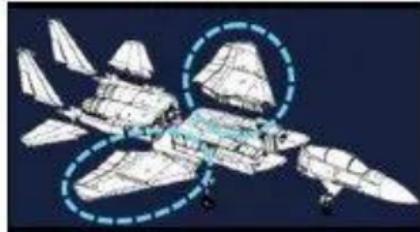
提出数字孪生体概念



验证数字孪生体概念

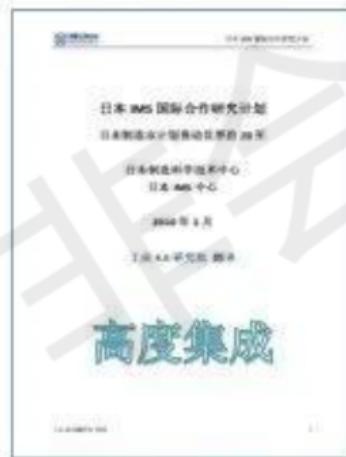


数字孪生体范式



来源：工业4.0研究院  
数字孪生体联盟

- 对于自动化行业来讲，“集成”是一个关键词汇，为了完成某种技术应用目标，设计某种特定的工程系统就成为装备系统的核心工作了。所谓特定的工程系统，可以重用的级别大都在“部件”，而不是“系统模块”，这实际上是人类社会工业化进程中一直的困惑：非标（非标准化）。
  - 美国希望采用开放架构，重构工业系统，但最终并未实现该目标。



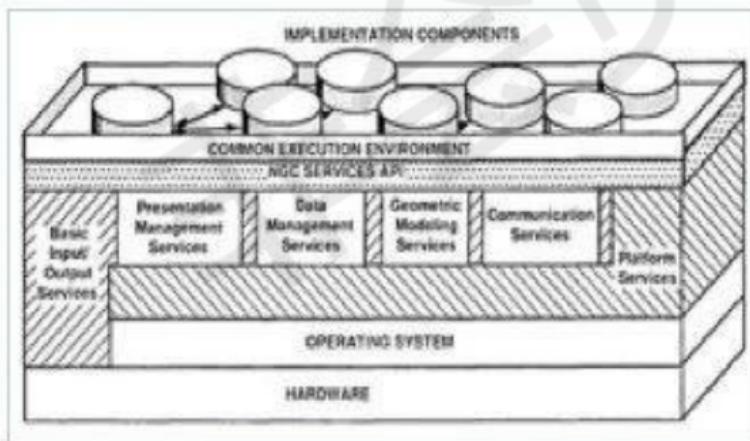
1989年6月，在通产省机械信息产业局举行了“工厂自动化愿景”座谈会，会议汇总了关于面向21世纪工厂自动化未来展望的报告。



1989年，美国空军下属实验室发起了《下一代控制器》(Next Generation Controller)的计划，希望通过开放的架构和标准与德国和日本竞争。

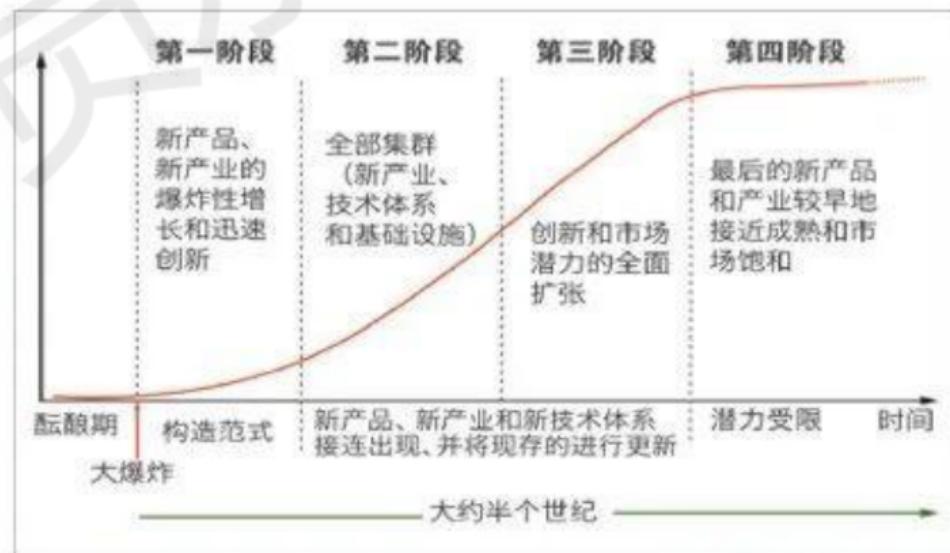
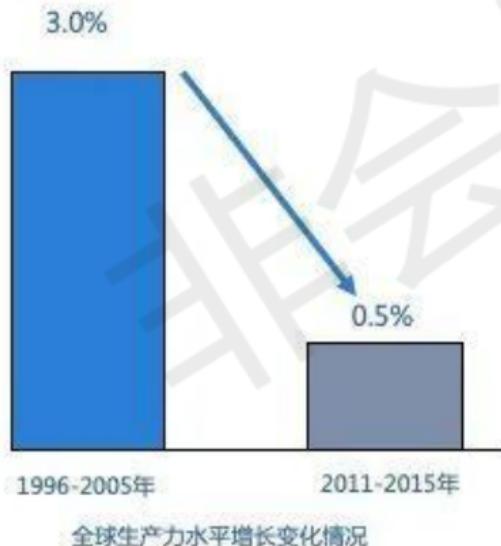
# 从美国空军下属实验室的《下一代控制器》(NGC)项目来看，类似PC的开放架构，它设计的NGC较多借鉴了类似的工程思路

- 2019年5月19日，本人在中国自动化学会前沿学科分享中，以《工业互联网体系下的控制系统命题》做了一次分享，认为工业互联网即为“开放架构”，它延续了早期的NGC工程模式，但如何平衡数字化和工业化需要，这是一个较为突出的挑战。
- 数字化容易实现“服务化”和“分享”目标，但对于工业化来讲，容易大幅改变传统的价值链结构，从而使得大家都不愿意去做工艺、材料等方面的改进，这会导致完整产业链有部分缺失，从而使得“产业化”的目标难以形成。



# 回到全球先进制造业竞争格局，各个国家都希望解决技术周期切换的问题，找到一种新制造范式，引入新一代数字技术，提升生产力水平

- 在过去20年期间，全球制造业普遍处于生产过剩的状态，一方面促使解决生产力效率的互联网蓬勃发展，另一方面，全球主要发达国家推进“去工业化”（转移低端产能）和“再工业化”（加强先进制造）的进程。中国在2015年开始进入第四次工业革命竞争中来了。



# 对于进入后工业时代（人均GDP为1万美元）的中国，如何平衡数字化和工业化之间的融合，是第四次工业革命的核心命题

- 进一步推进互联网公司的反垄断，重点解决其“市场话语权”太大的弊端。互联网公司本质上不创造“工业增加值”，从推进我国制造业高质量转型来讲，必须适当控制互联网公司毫无边界发展的势头。
- 对于工业企业数字化转型来看，继续推进两化融合，让多种制造范式进行应用，以适应制造业多样化的特点和要求，诸如工业互联网、数字孪生制造等新范式的应用，有助于突破开放和集成的瓶颈，推动先进制造业进入第四次工业革命发展阶段。



# 目 录

一 先进制造需要解决什么问题？

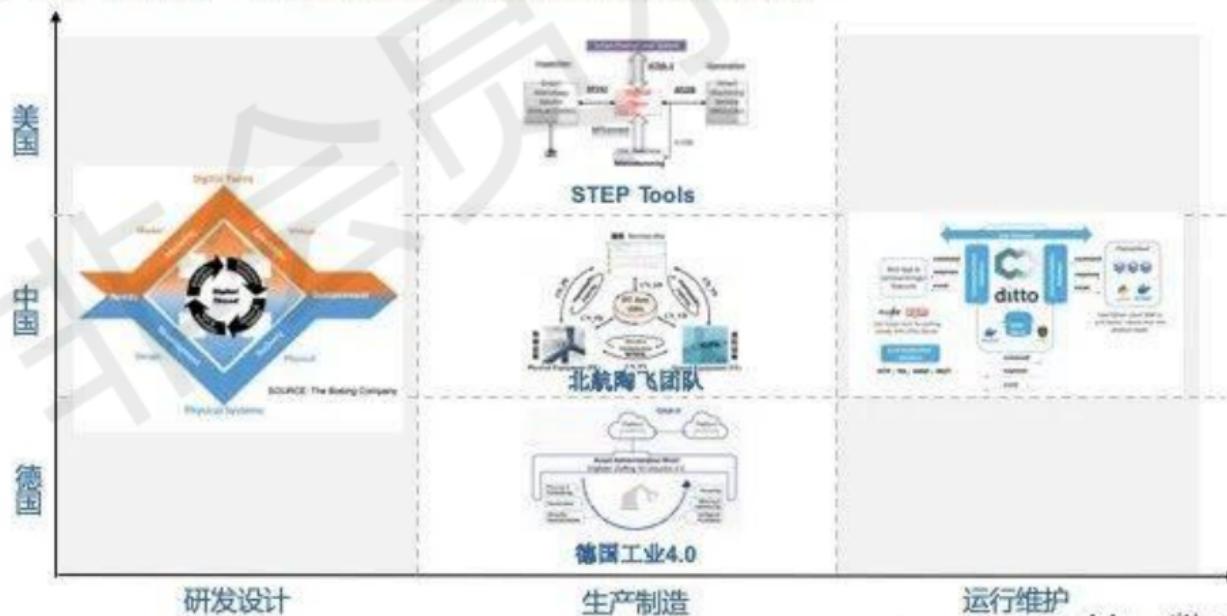
二 全球数字孪生制造三大流派

三 打造数字孪生体 Digital twin Net

四 工业4.0研究院的探索与实践

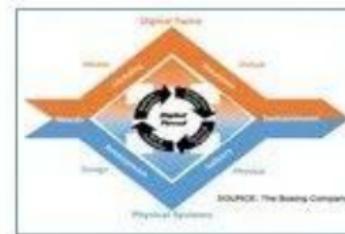
**二、从研发设计、生产制造和运行维护三个阶段来看，美国、中国和德国形成了三种不同的模式，特别是生产制造环节基于各种原因有较大的不同**

- 在研发设计和运行维护两个环节，各国专家有较为一致的选择，但在生产制造环节，主要存在美国、中国和德国三大主流的做法，美国沿袭传统的STEP数据标准，中国以陶飞等学者的看法比较典型，德国依托工业4.0衍生出来的“资产管理壳”（AAS，Asset Administration Shell）。



# (一) 如何解决正向设计问题，大部分基于系统工程V型图做了改进，波音公司和中航工业等公司做了大量的探索

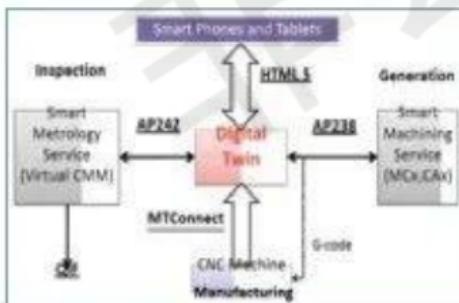
- 随着工业系统数字化程度越来越高，人们引入了系统工程或基于模型的系统工程（MBSE），然而由于系统工程方法过于复杂，对工作人员要求非常高，实际应用上仅限于航空航天、汽车等领域。
- 波音公司主管Don Farr提出，应该改变这样的现状，他牵头发起了系统工程方法的变革，提出了宝石模型。
- 中航工业前副总经理张新国在演讲中，尝试提出了数字孪生体驱动的系统工程方法。



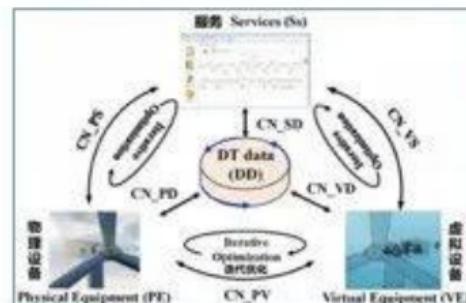
## (二) 在生产制造环节，主要形成了美国、中国和德国三大流派，它们决定了全球数字孪生制造流派

- 美国一直想解决“数字制造”的问题，核心是制造数据的交换、流动和分享，STEP Tools的创始人积极参与了ISO 23247国际标准的制定。
- 中国数字孪生制造模式希望构建类似工业互联网全面的体系，模型较为复杂。
- 德国工业4.0体系下的资产管理壳，过于强调保护传统自动化厂商利用，导致创新不足，进展缓慢。

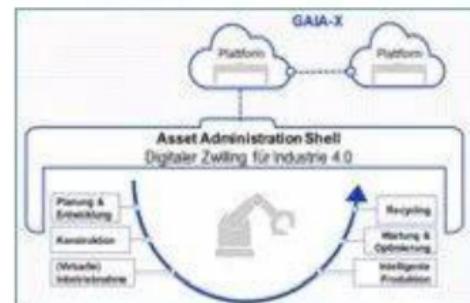
美国数字孪生制造模式



中国数字孪生制造模式

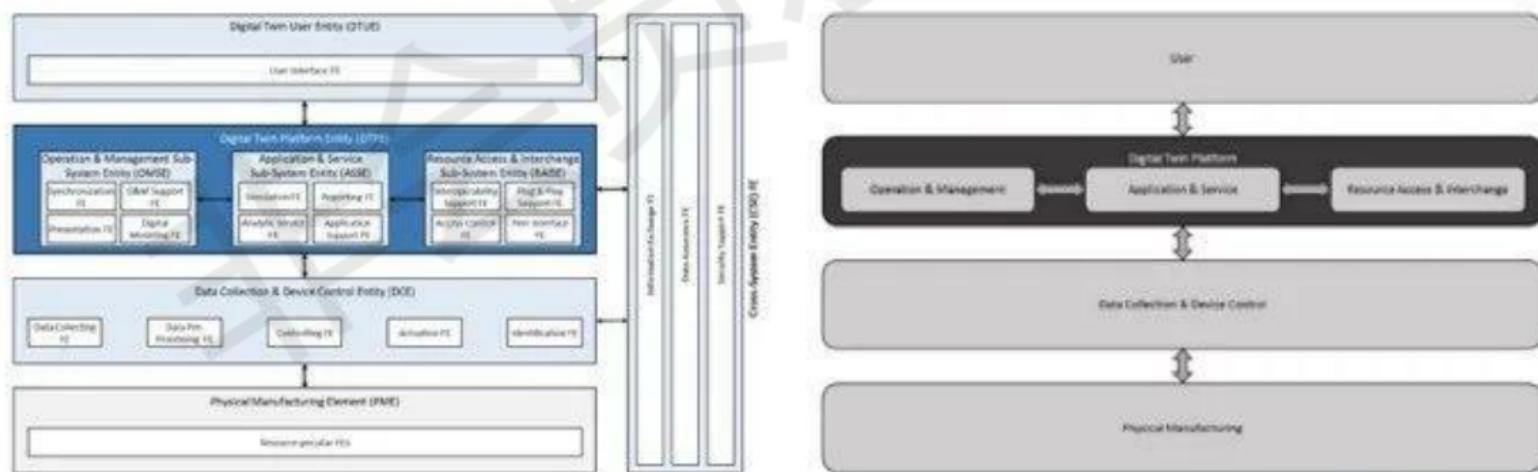


德国数字孪生制造模式



国际标准组织ISO TC184正在推进数字孪生制造标准ISO 23247，目前已经形成了以数字孪生制造平台为核心的标准体系。

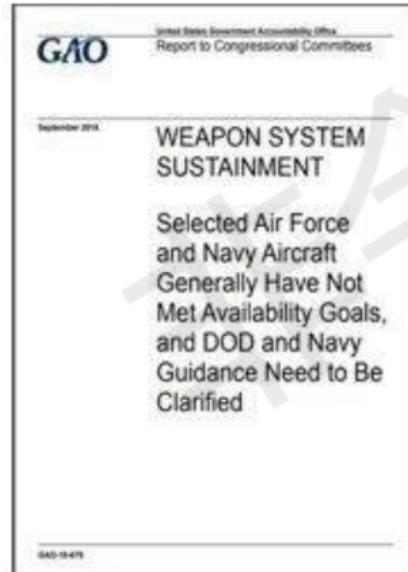
- 目前有不少研究机构围绕ISO 23247设计符合自身需要的数字孪生制造标准。美国STEP Tools结合到美国国防部、NIST和DMDII的需要，做了不少研究工作，延续了上个世纪80年代NIST推进STEP数据交换标准的努力，希望在数字孪生制造方面，继续引领全球的先进制造创新。



来源：ISO 23247 国际标准

### (三) 在DARPA提出数字孪生体之后，AFRL承担了工程概念验证的任务，启动“机身数字孪生体”，其目的就是实现数字孪生运行维护

- 美国空军研究实验室的工程师们，在为空军战斗机机体结构检修维护的时候，具有强烈的动机去寻求更好的方法“提高分析的准确性和及时性，以便为结构维修计划提供信息”。



# 目 录

一 先进制造需要解决什么问题？

二 全球数字孪生制造三大流派

三 打造数字孪生体 Digital twin Net

四 工业4.0研究院的探索与实践

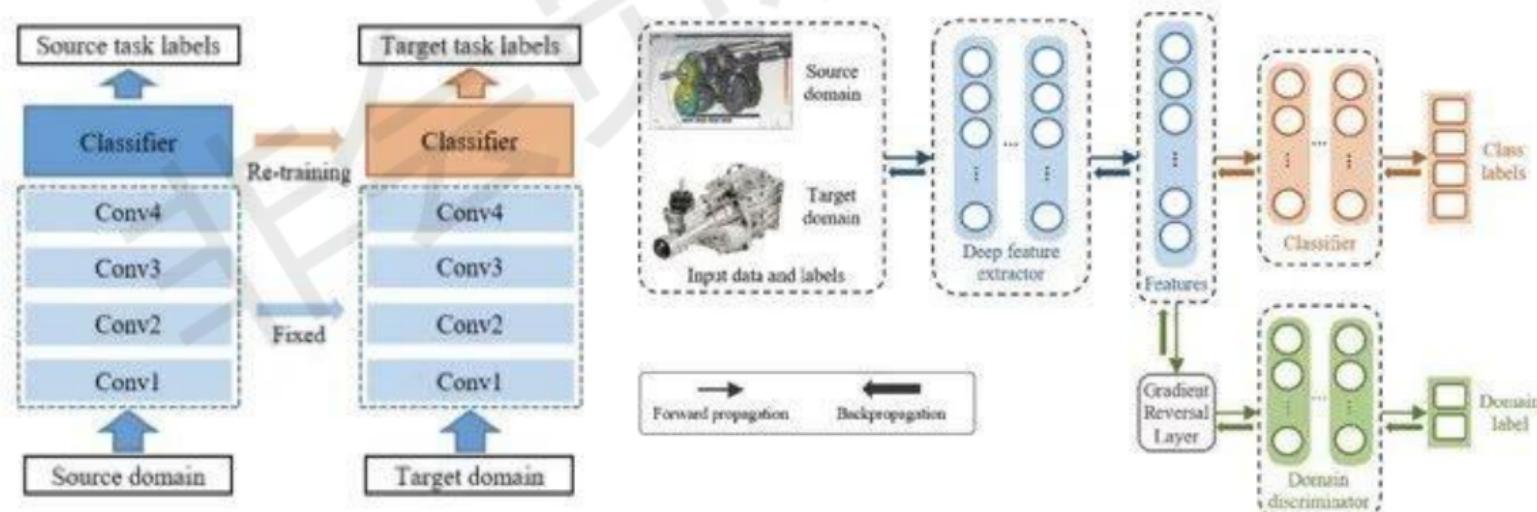
### 三、2007年李飞飞在ImageNet上的探索，推动了深度学习的发展，当时DARPA深受感触，希望对三维或多维数字物体应用深度学习

- 李飞飞在2007年与普林斯顿大学教授克里斯蒂安·费尔鲍姆会面讨论了该项目，他是WordNet的创建者之一，在WordNet基础上，李飞飞组建了一个研究团队，致力于ImageNet项目。
- ImageNet项目是一个大型视觉数据库，用于视觉目标识别软件研究。该项目已手动注释了1400多万张图像，以指出图片中的对象，并在至少100万张图像中提供了边框。



# 对于三维乃至多维的物理系统，可以建立数字孪生体，利用深度学习的方法，实现自动选择特征值（Features）的应用，从而改变物理世界的应用

- 目前不少学者在尝试建立数字孪生体的深度学习方法，主要是基于物理系统自身的深度学习方法，这是从李飞飞之前建立的ImageNet到工业4.0研究院提出的DigitaltwinNet的演进。
- 工业4.0研究院认为，可以为特定物理系统建立深度学习模型和算法，从而实现真正的“深入骨髓”的智能化应用，这应为第四次工业革命的重大突破。

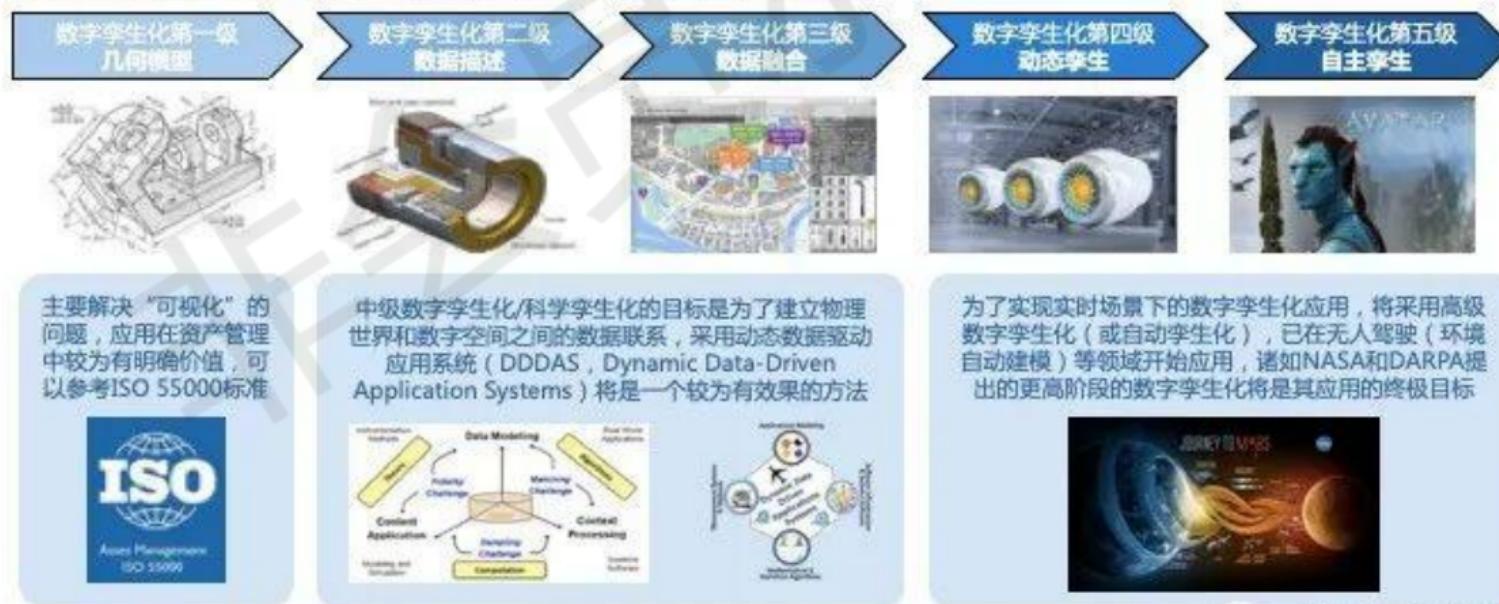


来源：On the application of transfer learning in progr...

数字孪生上体识别

# 对于物理设备和系统的数字孪生化 ( Digital Twinning ) , 可以有多个维度的三维几何模型 , 工业 4.0 研究院把它分为五个等级

- 在《数字孪生体：第四次工业革命的通用目的技术》一书中，胡权明确指出数字孪生化 ( DTL , Digital Twinning ) 分为 5 个等级。根据数字孪生化过程中解决的技术难题不同，我们可以把 5 个等级简化为 3 大类，分别为初级数字孪生化、中级数字孪生化和高级数字孪生化。



# 如果实现了数字孪生体深度学习的通用方法，那么将对各行各业产生颠覆性影响， 工业4.0研究院根据应用特征，分为三大类应用行业和场景

- 在《数字孪生体：第四次工业革命的通用目的技术》一书中，分析了三大类九种行业，指出每种行业特点和发展规律，阐释了数字孪生体产业的广泛性。
- 数字孪生体技术将在多个领域得到应用，切实推进人类社会各行各业的数字化转型。



编号	行业	特点	种类
1	城市	从目前智慧城市的实践来看，主要用数字孪生体技术来可视化各种资产	资产
2	建筑	建筑常用的BIM，本质上是对建筑元素进行管理	
3	能源	能源管理效率的提升，需要对各种能源单元运行效率进行管理	
4	汽车	汽车不能仅仅作为资产，还需要实现反向控制，才可以起到实时调整优化的效果	控制
5	航空航天	数字孪生体在航空航天领域的应用，跟控制是有紧密联系的	
6	交通	交通的各种数据和可视化，都是为了实现实时控制和管理的目的	
7	医疗健康	要求对人体的细致入微的数字孪生化	仿真
8	材料	从物理特征等进行模拟仿真，以达到理论研究和系统交互控制的目的	
9	国防	对体系（SoS）级别的仿真，决定了战争的成败	

# 目 录

一 先进制造需要解决什么问题？

二 全球数字孪生制造三大流派

三 打造数字孪生体 Digital twin Net

四 工业4.0研究院的探索与实践

#### 四、自2013年成立以来，工业4.0研究院秉承“引领第四次工业革命”愿景，定位为“兰德”和“DARPA”的有机融合体，加速颠覆性技术的发展

- 工业4.0研究院2015年开始系统研究数字孪生体，形成了完整的方法论和应用场景，目前进入“数字孪生+”战略实施阶段，即在继续推进数字孪生体研究的同时，利用“降维策略”，从入手容易、价值较大的行业建立应用场景，推动数字孪生体往通用目的技术（GPT，General-Purpose Technologies）发展。



# (一) 在开展数字孪生体研究同时，工业4.0研究院配合国家发改委/中央网信办、工信部和中央军委等部分编写政策文件，推动数字孪生体产业发展

- 在工业4.0研究院支撑下，国家发改委和中央网信办于2020年4月7日发布了《关于推进“上云用数赋智”行动 培育新经济发展实施方案》，提出了包含数字孪生体的新一代数字技术和“数字孪生创新计划”等内容。
- 2020年8月21日，国资委发布了《关于加快推进国有企业数字化转型工作的通知》，提出了要大力应用数字孪生体等新一代信息技术，推动国有企业数字化转型。



中华人民共和国国家发展和改革委员会  
National Development and Reform Commission

首页    机构设置    新闻动态    政务公开    政务服务

当前位置：政务公开 > 政策 > 通知

国家发展改革委 中央网信办印发《关于推进“上云用数赋智”行动 培育新经济发展实施方案》的通知

发改高技〔2020〕882号

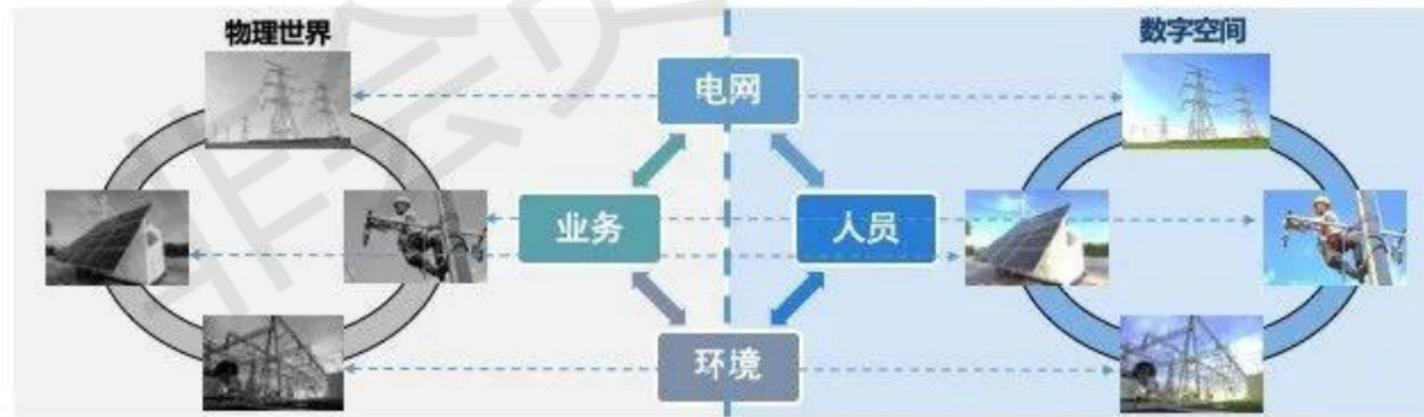
各省、自治区、直辖市发展改革委、网信办：

为深入贯彻落实习近平总书记关于统筹推进疫情防控和经济社会发展的指示精神，按照党中央、国务院决策部署，充分发挥新技术引领和赋能作用抗击疫情影响，做好“六稳”工作，进一步加快产业数字化转型，培育新经济发展新动能，构建现代化产业链条，实现经济高质量发展，国家发展改革委、中央网信办联合制定了《关于推进“上云用数赋智”行动 培育新经济发展实施方案》。现印发你们，请认真抓好落实。根据上述通知提出的问题，形成的反馈意见请及时报国家发展改革委、中央网信办。国家数字经济创新发展试验区要积极行动，大胆探索，推进各项工作任务的扎实实施。

国家发展改革委  
中央网信办  
2020年8月7日

## (二) 针对电力行业的需要，工业4.0研究院设计了“数字孪生电网”体系，形成了1.0、2.0和3.0的演进路径

- 按照《数字孪生体》一书提出的“降维策略”，电力行业比较适合应用数字孪生体，基于数字孪生基础设施，通过建立全局、全生命周期的数字孪生电网，可以帮助电力企业实现较好的经济效益。
- 目前工业4.0研究院依托数字孪生体联盟，正在开展《数字孪生电网白皮书》的编写。



来源：工业4.0研究院分析

数字孪生体联盟

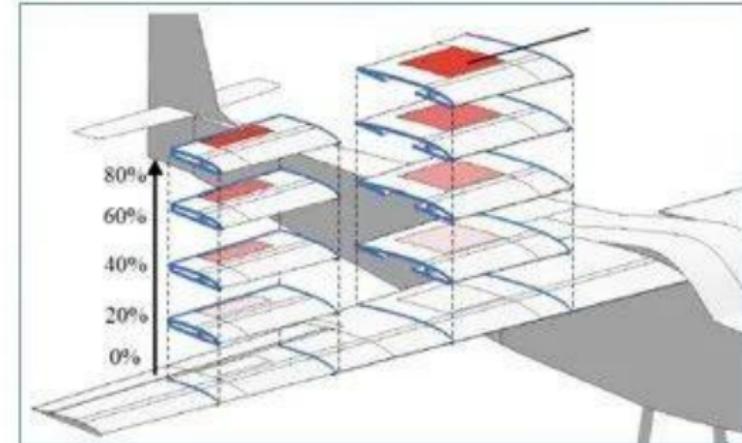
### (三) 工业4.0研究院为了推动无人系统的发展，建立了“UXV创新实验室”，正在应用深度学习方法，实现真正智能化的无人系统

- 通过建立结构物件多维度数字孪生体，可以引入深度学习方法，从而实现真正意义上的DigitaltwinNet效果，这对于预测性维护乃至个性化系统提供了非常有前景的应用。
- 基于数字孪生城市开源社区，工业4.0研究院在建设智慧城市、智能汽车和能源互联网等一体化的生态。

无人飞行设备（UXV）



基于深度学习的UXV数字孪生模型



# 工业4.0研究院发起的数字孪生体联盟，代表了中国市场经济的活力，体现了其前瞻性和创新性，成为全球数字孪生体领域的一支独特力量

- 作为全球第一个数字孪生体行业组织，数字孪生体联盟（DTC, Digital Twin Consortium）由工业4.0研究院牵头发起，于2019年10月16日成立，专注数字孪生体关键技术的研发，立足开源社区建设“数字孪生创新生态”，推动数字孪生体产业发展。



全球各个国家纷纷布局数字孪生体，工业4.0研究院参与其中，扮演了较为重要的角色，希望更多的创新力量加入，共同实现第四次工业革命

国防应用



中国国防部



美国国防部



英国国防部



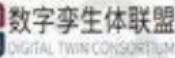
无



无

市场应用

中国数字孪生体联盟  
(2019年成立)



美国数字孪生体联盟  
(2020年成立)



国家数字孪生体计划  
(2018年提出)



德国工业数字孪生体协会  
(2020年成立)



数字孪生体计算计划  
(2019年提出)



发起单位

工业4.0研究院



对象管理集团 (OMG)



英国数字建造中心



德国ZVEI和VDMA联合发起



日本电报电话公司

