

3D打印与第四次工业革命白皮书1.0

Whitepaper of 3D Printing and the Fourth Industrial Revolution version 1.0



随时查看白皮书请关注“3D科学谷”微信公众号: [cn_3dsciencevalley](#)



中文

English

2百万+点击量 (年)

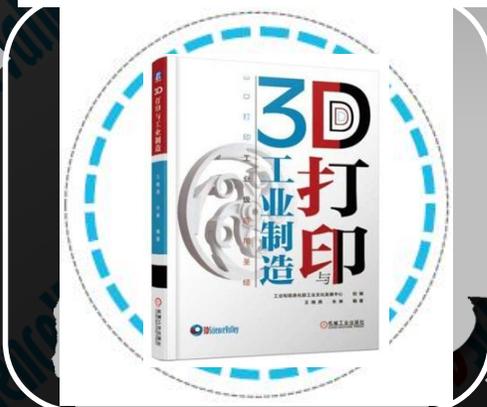
3D科学谷

市场研究白皮书系列、Insights行业洞见、卓越论坛、《3D打印与工业制造》，四大板块之间相互联动，3D科学谷立足上海与德国柏林，全球视野，精准洞察，(www.3dsciencevalley.com)，是国际上最有影响力的3D打印界的智囊平台。



10万+订阅用户; 4百万+阅读量

机械工业出版社发行，京东、当当有售



交汇

升级

认知贯通

能量聚合

全球

多维

行业应用白皮书提升行业对3D打印的认知水平

AME卓越论坛聚焦3D打印改变产品的方式



融合





3D打印与第四次工业革命

1 未来工厂的六个发展方向



2 3D打印引领第四次工业革命

未来已来的未来工厂

- 未来工厂永远在路上，随着时代变迁，内涵有所不同，但从未来视角审视当前存在的问题，探讨改进措施，创造未来是永恒的。
- 未来建立在传统之上，精益生产的精髓是消灭浪费和不断改进，具有指导意义，数字化的精益生产流程可视化后，更透明更易理解。
- 未来工厂不仅是技术、环境和人，商业的模式和供应链，以及工厂的组织型态都是在动态变化之中，平台化、协同化是大趋势。
- 互联共生是未来工厂的重要特征，是新的业务模式、利益共同体和生态圈，主要体现在资源（物质和知识）的共享和众包。
- 未来工厂是基于模型的企业，从基于经验的制造迈向基于科学的制造，在产品设计时就能通过建模和仿真优化生产过程，在产品没有被生产出来之前“使用”产品，发现问题，加以改进。

工艺规划

Process planning

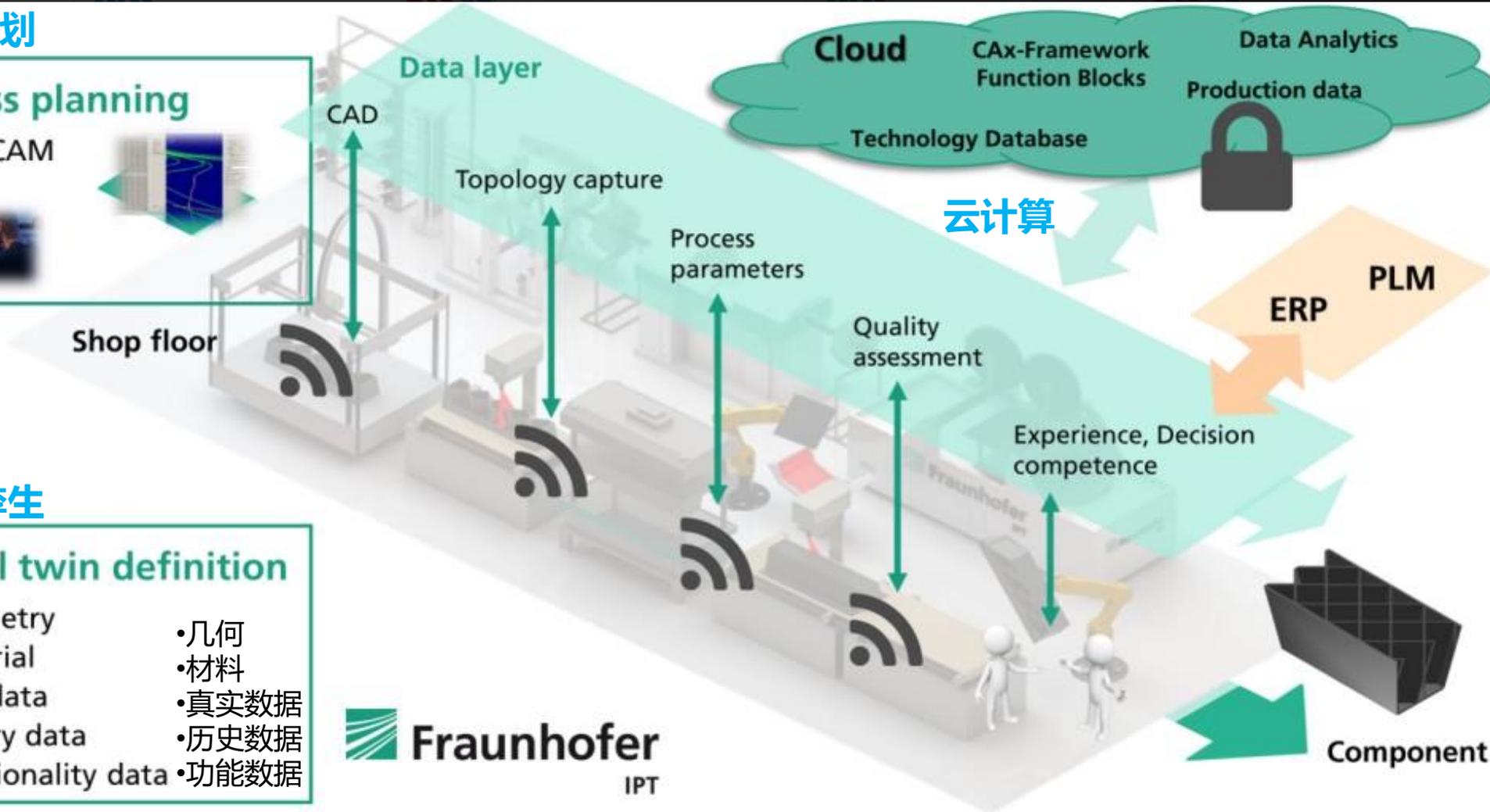
- CAD/CAM



数字孪生

Digital twin definition

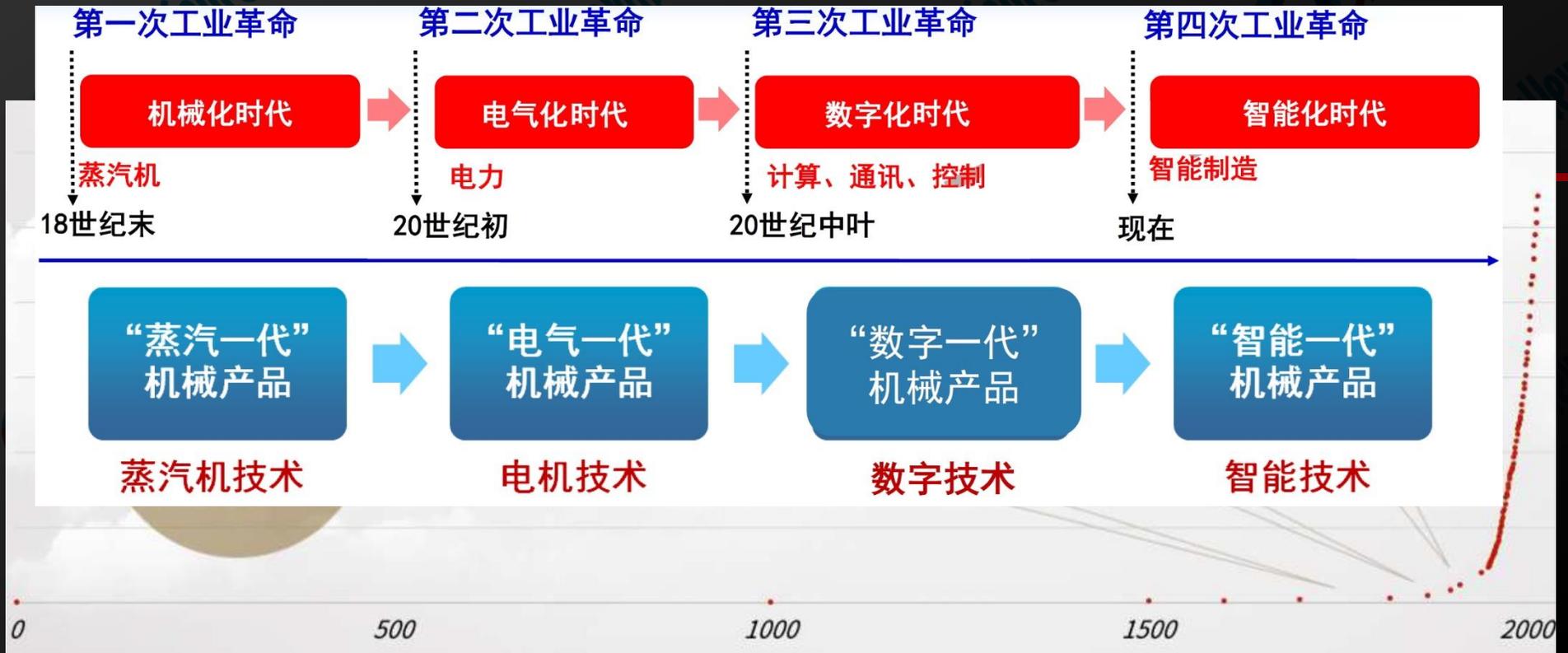
- | | |
|----------------------|-------|
| ▪ Geometry | •几何 |
| ▪ Material | •材料 |
| ▪ Real data | •真实数据 |
| ▪ History data | •历史数据 |
| ▪ Functionality data | •功能数据 |



4 工业化的本质

工业化（产业化）的本质是为了人类文明的可持续发展，通过持续采用新技术和追求高效专业化组织，不断提升以设计和制造活动为核心的物质生产的水平。

所以，不断提高理想度的设计制造一体化是工业化（产业化）迈向理想化最终结果的必由之路。



基于增材思维的先进设计与智能制造

作为新一代的物质生产技术，与新一代人工智能技术深度融合，形成真正的新一代智能制造技术，进而成为第四次工业革命的核心技术引擎。以精微材料为起点、以数字化控制为手段，创造性地实现了在零件制造过程的同时在制备材料、制备材料的同时在制造零件，将传统上材料选择制备和工艺加工的串行过程转变为成性和成形的并行过程

历次工业革命的技术系统分析

工业革命	特点	理论基础	能源/动力装置	设计范式	制造范式	生产管理/度量控制
第一次(1750-1850)	机械化		蒸汽机	手工作坊->单兵	原始等材、减材	单台机器生产
第二次(1850-1950)	电气化	基于确定性和标准化的机械还原论	石化电力/ 内燃机、电动机	单兵->小团队	现代减材、等材	基于装配流水线的大规模生产
第三次(1950-2020)	数字化	控制论+系统论	喷气动力、核动力	传统系统工程	现代减材、等材	基于计算机的自动化生产
第四次(2020-2080?)	智能化	系统论+控制论+信息论	可再生能源/基于可控核聚变的动力装置	现代系统工程 (MBSE+数字孪生)	基于增材制造的工艺融合	基于工业互联网的智能工厂

MBSE+Digital Twin

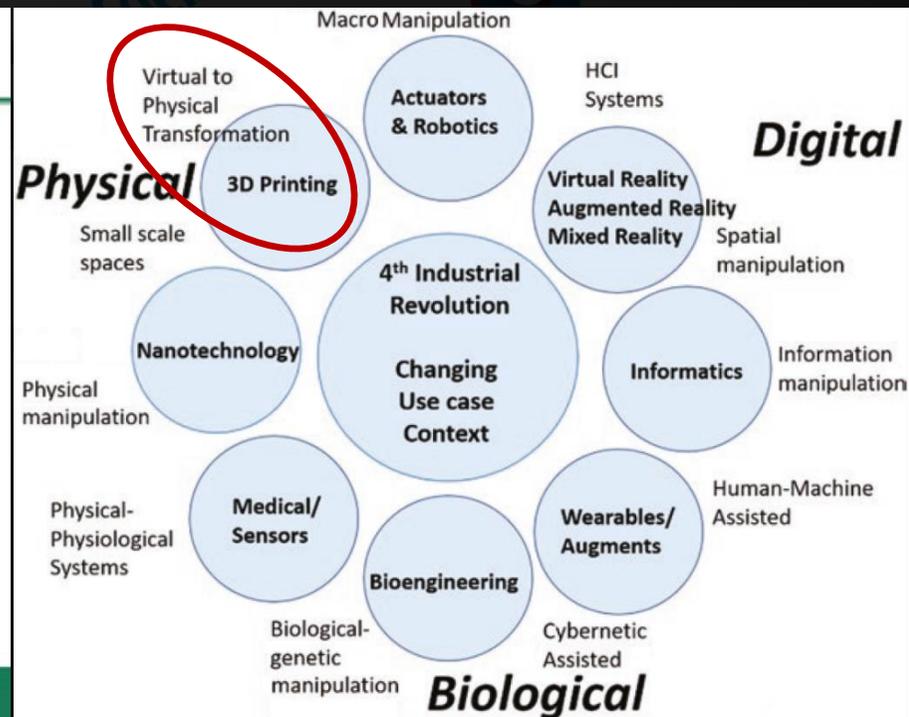
 Seamless Process
based on AM

 Internet-based
smart factory

第四次工业革命的技术体系

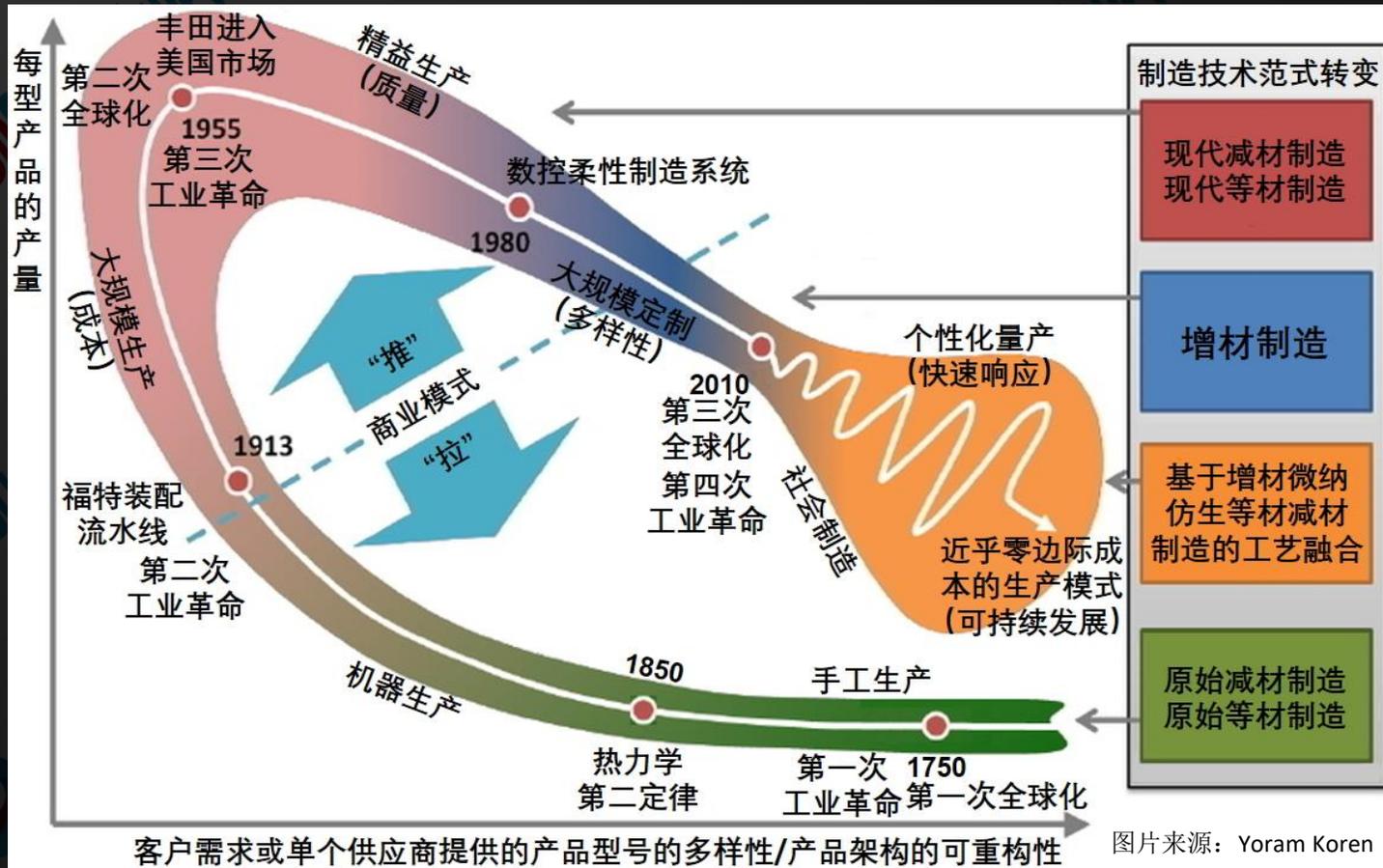
3D打印-增材制造以其天然的数字化特性，助力产品或系统跨越全生命期的数字孪生表达和应用，实现纵向打通从宏观、介观到微观制造机理跨尺度建模，横向集成从物理世界到虚拟世界和生命世界的其他关键技术，进而支撑第四次工业革命丰富多彩的应用场景

Industry 4.0 refers to the convergence and application of nine digital industrial technologies



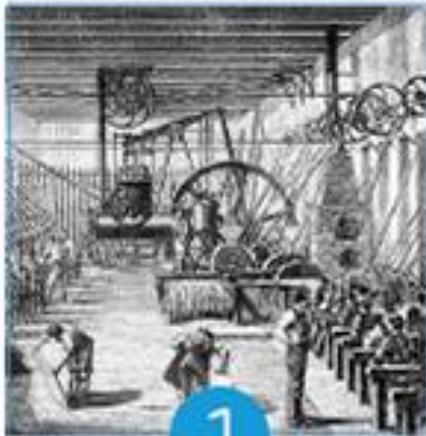
7 从人类工业化进程看设计与制造关系的演进

产品的制造生产走了一个螺旋上升的路径，产品制造范式的转变也同样走了一个螺旋上升的路径。以增材思维实现设计与制造融合并且增材、等材、减材、微纳、仿生等制造唇齿相依工艺融合的新时代。



3D打印引领第四次工业革命

Lead the next industrial revolution with innovative technology in 3D printing

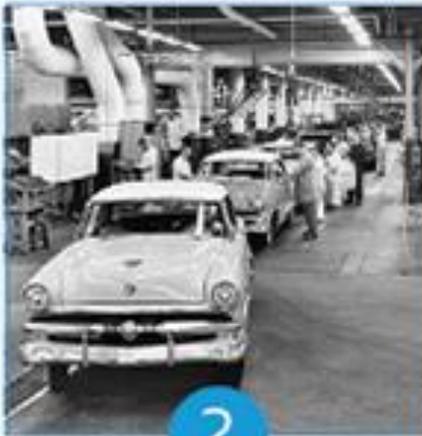


1

Industrial revolution, mechanical production, water and steam power

1780s-1860s

1784
First mechanical loom



2

Mass production, electric power, labor division and assembly line

1870s-1960s



3

Production automation electronics and IT

1970s-2010s



4

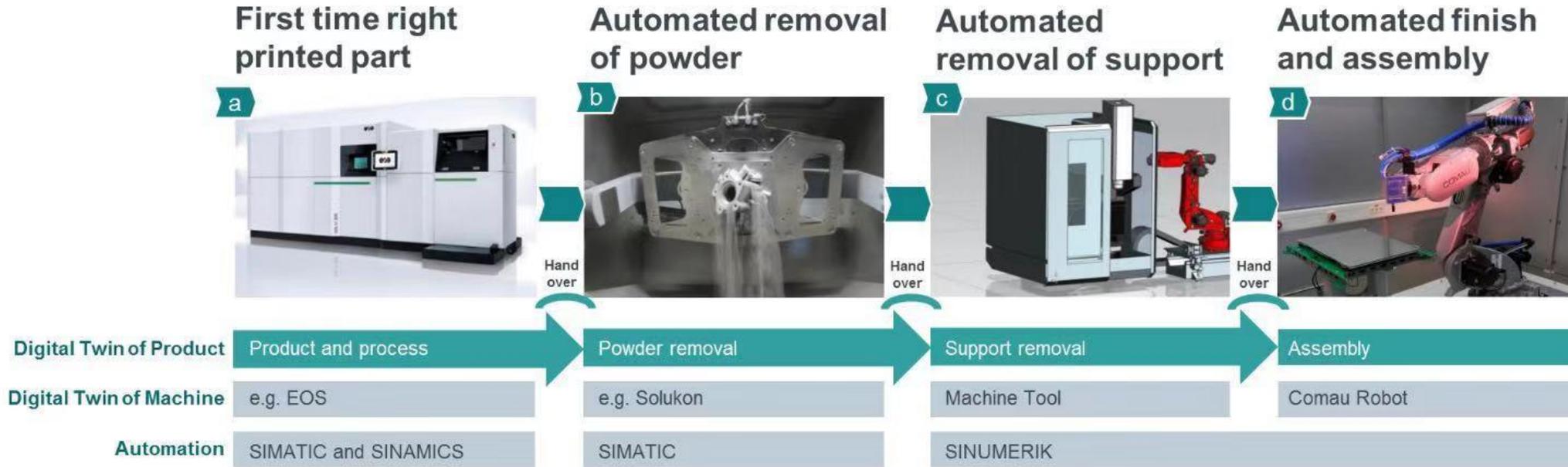
Digital manufacturing and smart production, 3D printing, digitization and capital efficiency

2020s-Future

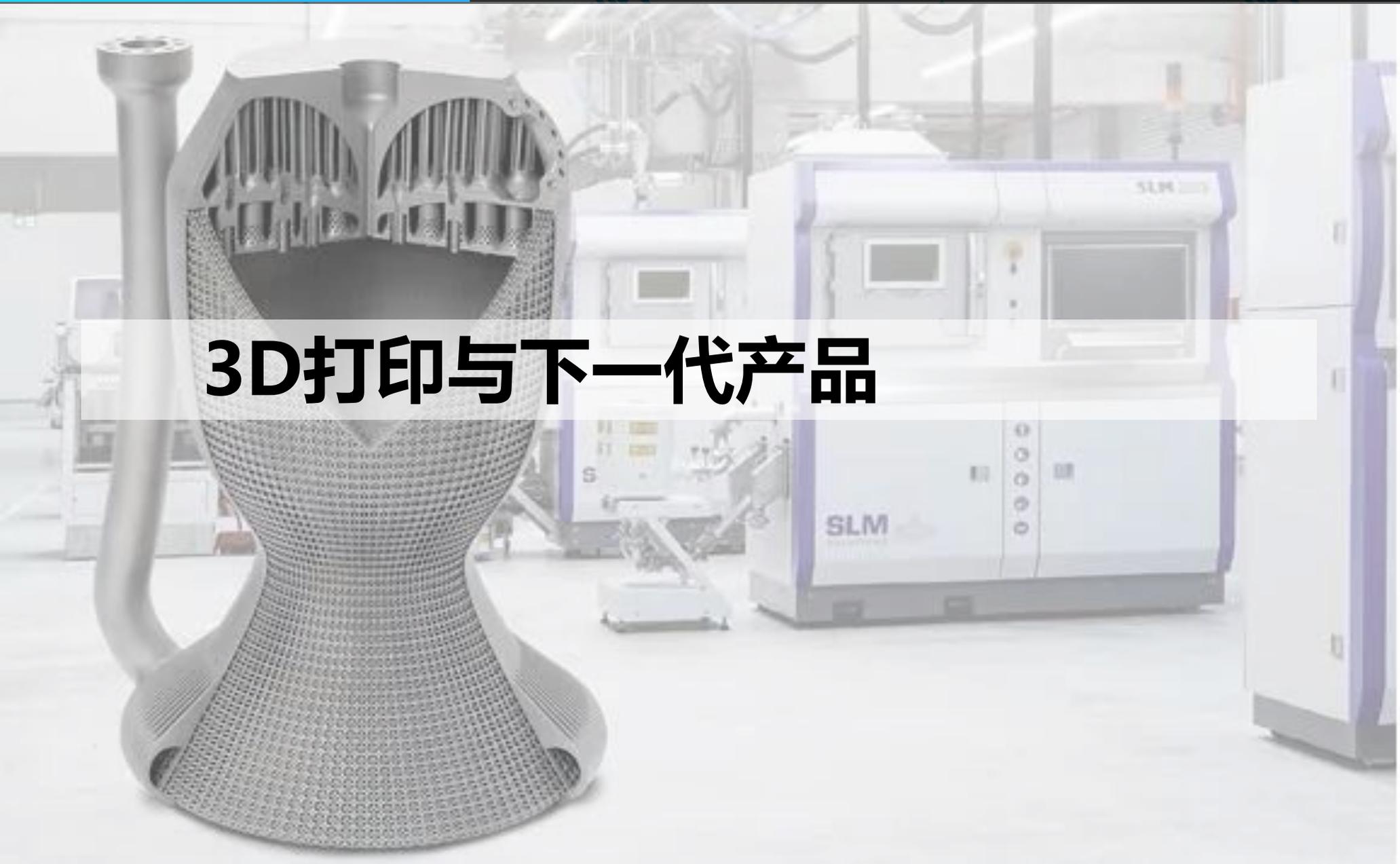
Today

制造的自动化，数据的自动化，工艺的自动化，所见即所得

增材制造是工业化与信息化的完美融合。其天然的全数字化生产方式，囊括了产品从研发、仿真、制造、检测验证到维护保障的全生命周期。从来没有一项工艺方法或产品制造方法能够如此全数字化表达，全过程的“数据孪生”将为装备运营维保、产品迭代升级和快速上市带来巨大价值。



3D打印与下一代产品



集成设计推动金属、塑料、陶瓷在5-10年内进入到大尺寸零件制造时代



功能导向设计推动5-10年内进入到多材料相容零件制造时代



3D打印在5-10年内成为医疗领域从模型、矫正器、植入物到牙科领域的主流制造技术



3D打印在5-10年内颠覆散热器、液压零件等功能零件制造方式，并颠覆运动鞋的供应链



3D打印在5-10年内推动交通工具全面进入轻量化制造时代（砂模铸造、间接金属打印...）



11 3D打印引领第四次工业革命

GE9X engine – additive manufactured parts

下一代航空发动机

GE9X拥有304个通过增材制造的零件，涵盖了七大类型的3D打印零部件：

- 燃油喷油嘴
- T25传感器外壳
- 热交换器
- 诱导器
- 第5阶段低压涡轮（LPT）叶片
- 第六阶段LPT叶片
- 燃烧器搅拌机

1
T25 SENSOR

1
HEAT EXCHANGER

16
PARTICLE

在2018年10月，GE航空已顺利生产了第3万个3D打印燃油喷嘴。GE航空还利用增材制造技术，为GE9X等发动机制造传感器、叶片、热交换器和其他部件。

220
STAGE 5 & 6
LPT BLADES

28
FUEL NOZZLES
& COMBUSTOR MIXERS



下一代航天发动机

通过3D打印，可以以传统制造方法的一小部分成本和时间就能制造出坚固且高性能的发动机零件。

- SpaceX首席设计师兼首席执行官马斯克



下一代运动鞋



根据不同运动需求，实现性能定制

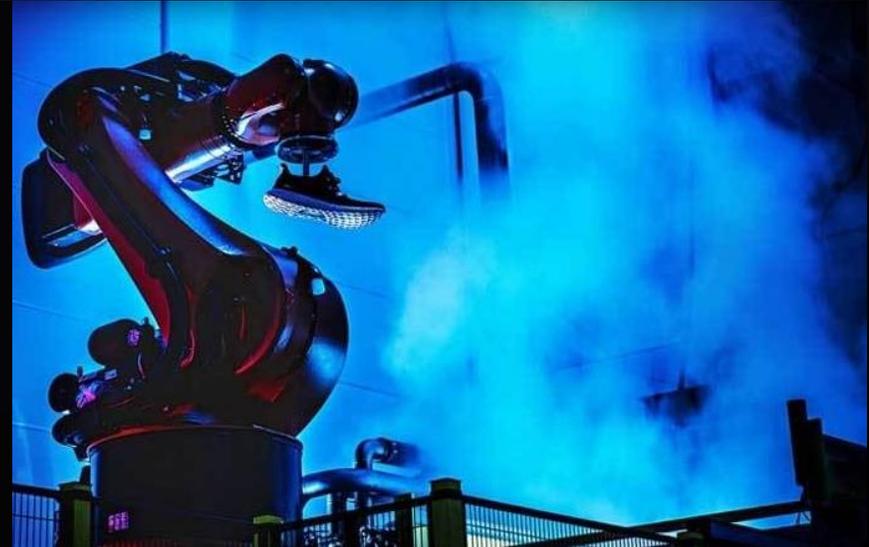
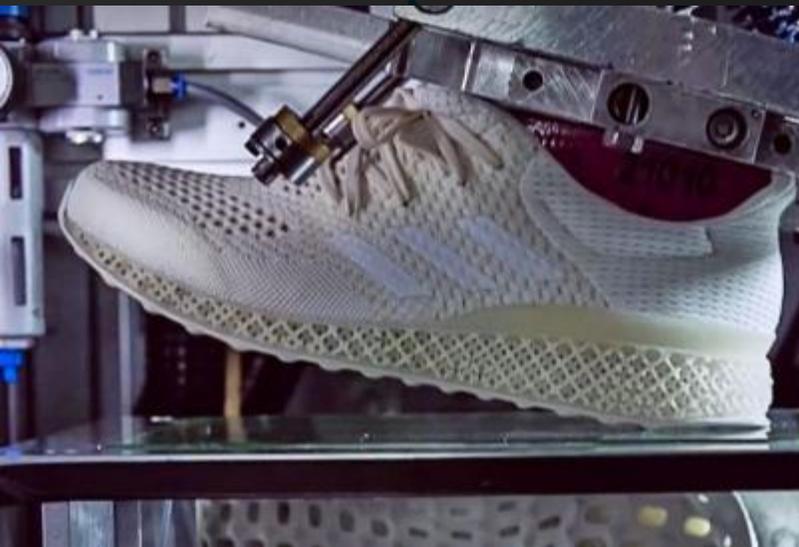
数字化制造

去中心化，离散制造

14 典型案例 - 阿迪达斯speedfactory

打造鞋的快速定制化生产能力，成为运动鞋制造企业新一轮竞争的焦点。灵活性，自动化和速度是制造新型运动鞋的关键，阿迪达斯Speedfactory，正在彻底改变行业。

3D打印技术作为鞋类快速定制化生产链条中的一种重要工艺，受到了鞋类制造商的重视。3D打印为鞋制造商带来的不仅是无模具化和小批量定制化生产的能力，还有商业模式上的改变，包括3D打印、数字化设计、三维扫描在内的数字化技术催生了鞋制造商与消费者紧密结合的小规模、去中心化的制造模式，这与设计、制造与消费者相互独立的传统大规模生产模式有着显著的区别。

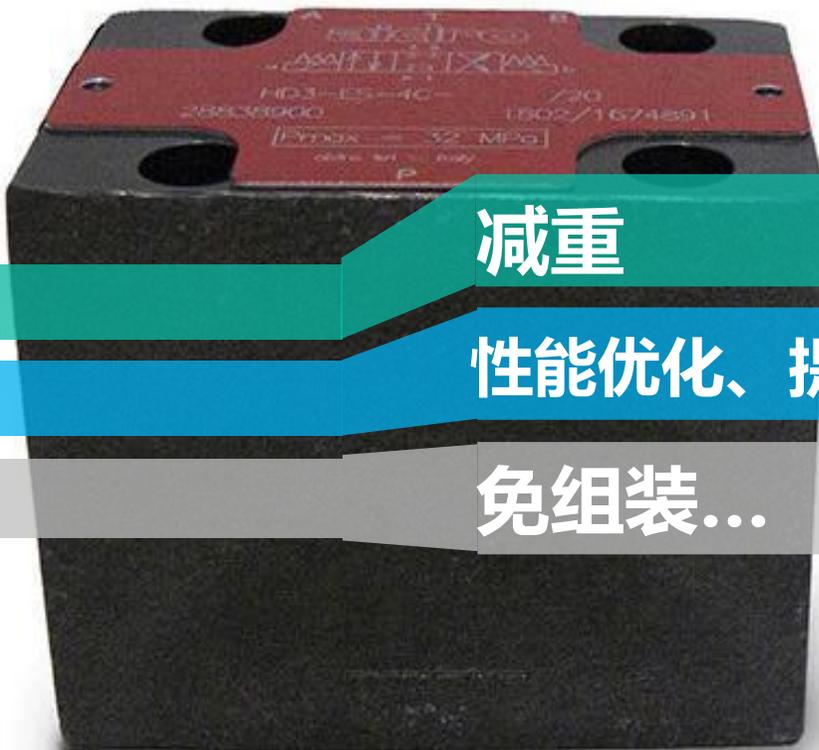


下一代液压零件

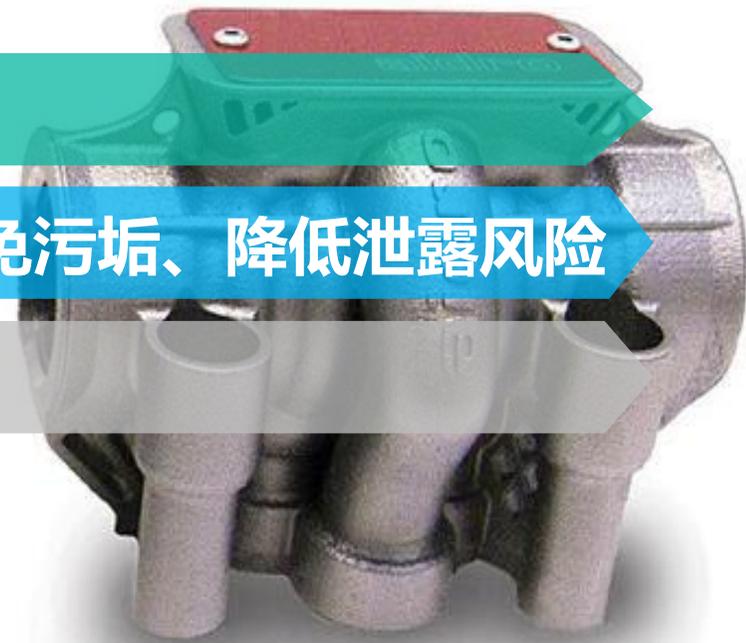
减重

性能优化、提高效率、避免污垢、降低泄露风险

免组装...



来自传统生产
0,8公斤



金属3D打印
0.3千克

16 典型案例 - aidro

意大利液压元件制造商Aidro Hydraulics已运用增材制造技术，创造新一代液压解决方案。公司的目标是超越传统生产的极限，特别是针对类似于歧管这样的复杂元件，同时实现更快的响应时间和更好的性能。AidroHydraulics主要使用不锈钢和铝合金，特别是AISI10Mg，这是3D打印中最常见的铝合金。利用增材制造的生产方式，通过液压阀块的内部管道经过了设计优化，内部管路中的液流得到改善，整个阀块的体积也比传统设计的阀块更小了，潜在的液体泄漏问题也得以避免。

Fluid Power



Additive Manufacturing

3D Metal Printing Solutions

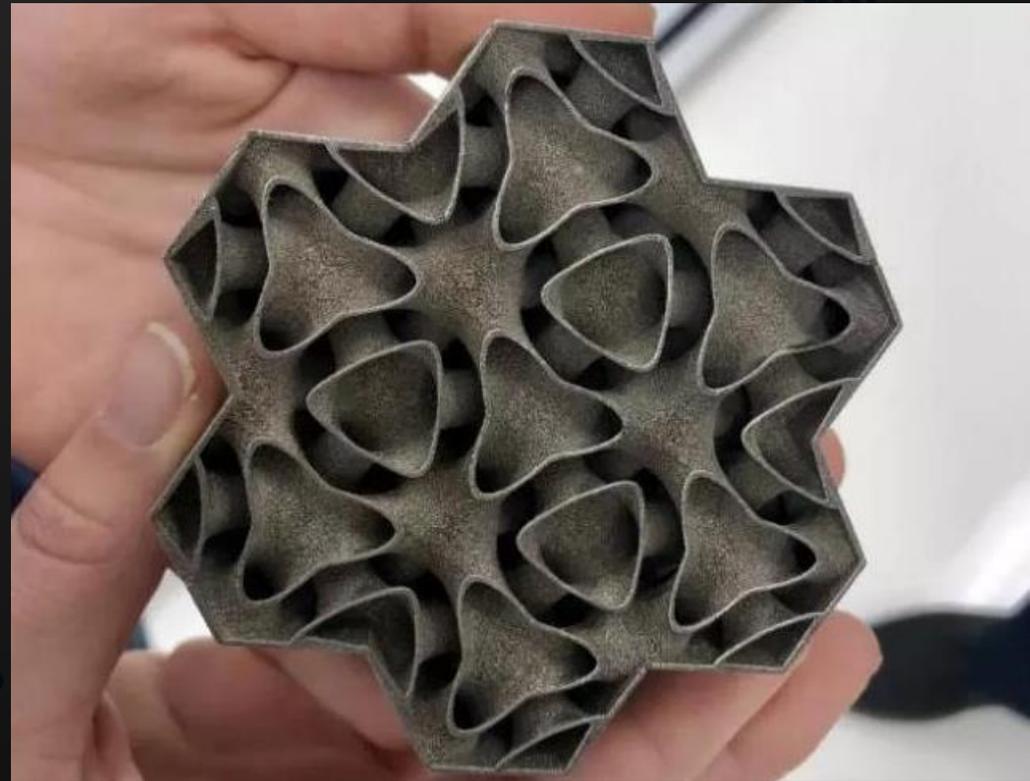
下一代热交换器



热交换器图片来源：雷尼绍

Ultra Performance

2019年GE宣布与马里兰大学和橡树岭国家实验室合作研发UPHEAT超高性能换热器，在两年半内完成开发计划，实现更高效的能量转换和更低的排放。GE希望新型换热器将在超过900°C的温度和高于250 bar的压力下运行，超临界CO₂动力循环的热效率提高4%，在提高动力输出的同时减少排放。材料方面，这种新型换热器将利用独特的耐高温，抗裂的镍基超合金，这是GE研究团队为增材制造工艺而设计的材料。该热交换器包括多个增材制造方法，使流体通道尺寸较小，具有较薄的壁而形成的流体通路，以及具有错综复杂的形状，这些热交换器使用先前传统的制造方法无法制造出来。



更详细的分析，请访问www.3dsciencevalley.com参考3D科学谷行业与应用白皮书系列：

趋势分析类 Trend analysis	Opportunities and challenges of the Chinese market Development trend of AM applications 3D打印发展趋势及中国市场的机遇与挑战 Development trend of AM applications Opportunities and challenges of the Chinese market	航空航天 Aerospace	3D打印与航天制造业白皮书 3D Printing and Aerospace Manufacturing Whitepaper 3D打印航空发动机白皮书 3D Printing Aero Engine Whitepaper
产业化分析类 Industrialization analysis	3D打印产业化白皮书 3D Printing Industrialization Whitepaper	消费品 Consumer goods	3D打印与鞋业数字化制造升级白皮书 3D Printing and Footwear Digital Manufacturing Upgrade Whitepaper 3D打印与首饰行业白皮书 3D Printing and Jewelry Industry Whitepaper 3D打印与眼镜行业白皮书 3D Printing and Eyewear Industry Whitepaper
行业分析类 Industry analysis	3D打印应用市场白皮书 3D Printing Application Market Whitepaper 3D打印与新能源汽车白皮书 3D Printing and Automotive Industry White Paper	电子 Electronic	3D打印与电子产品白皮书 3D Printing and Electronics White Paper
通用机械、零部件 General machinery and parts	3D打印与液压行业白皮书 3D Printing and Hydraulic Industry Whitepaper 3D打印与换热器及散热器白皮书 3D Printing and Heat Exchanger Whitepaper	刀具 Machine Tools	3D打印与刀具制造白皮书 3D Printing and Machine Tools Whitepaper
模具、铸造 Mold and Cast	3D打印在铸造领域的价值与应用趋势 3D Printing Value and Application Trend in Casting Industry 3D打印与模具行业白皮书 Whitepaper of 3D Printing and Die&Mould Industry	材料 Materials	3D打印高温合金白皮书 3D Printing Superalloy Whitepaper 3D打印塑料白皮书 3D Printing Plastic Materials Whitepaper 3D打印与陶瓷白皮书 3D Printing and Ceramic Whitepaper 3D打印与PEEK材料白皮书 3D Printing and PEEK Whitepaper 3D打印与碳纤维材料白皮书 3D Printing and Carbon Fiber Whitepaper
医疗、牙科 Medical and dental	3D打印与牙科白皮书 3D Printing and Dental Whitepaper 3D打印与骨科植入物白皮书 3D Printing and Orthopedic Implant Whitepaper 3D打印与康复辅助器具白皮书 3D printing and rehabilitation aids whitepaper	教育 Education	3D打印与K12教育白皮书 3D Printing and K12 Education White Paper
航空航天 Aerospace	3D打印与航天制造业白皮书 3D Printing and Aerospace Manufacturing Whitepaper 3D打印航空发动机白皮书 3D Printing Aero Engine Whitepaper		

权威解读3D打印发展与应用，就在3D科学谷白皮书系列



3D打印引发第四次工业革命 关键要素发展举例

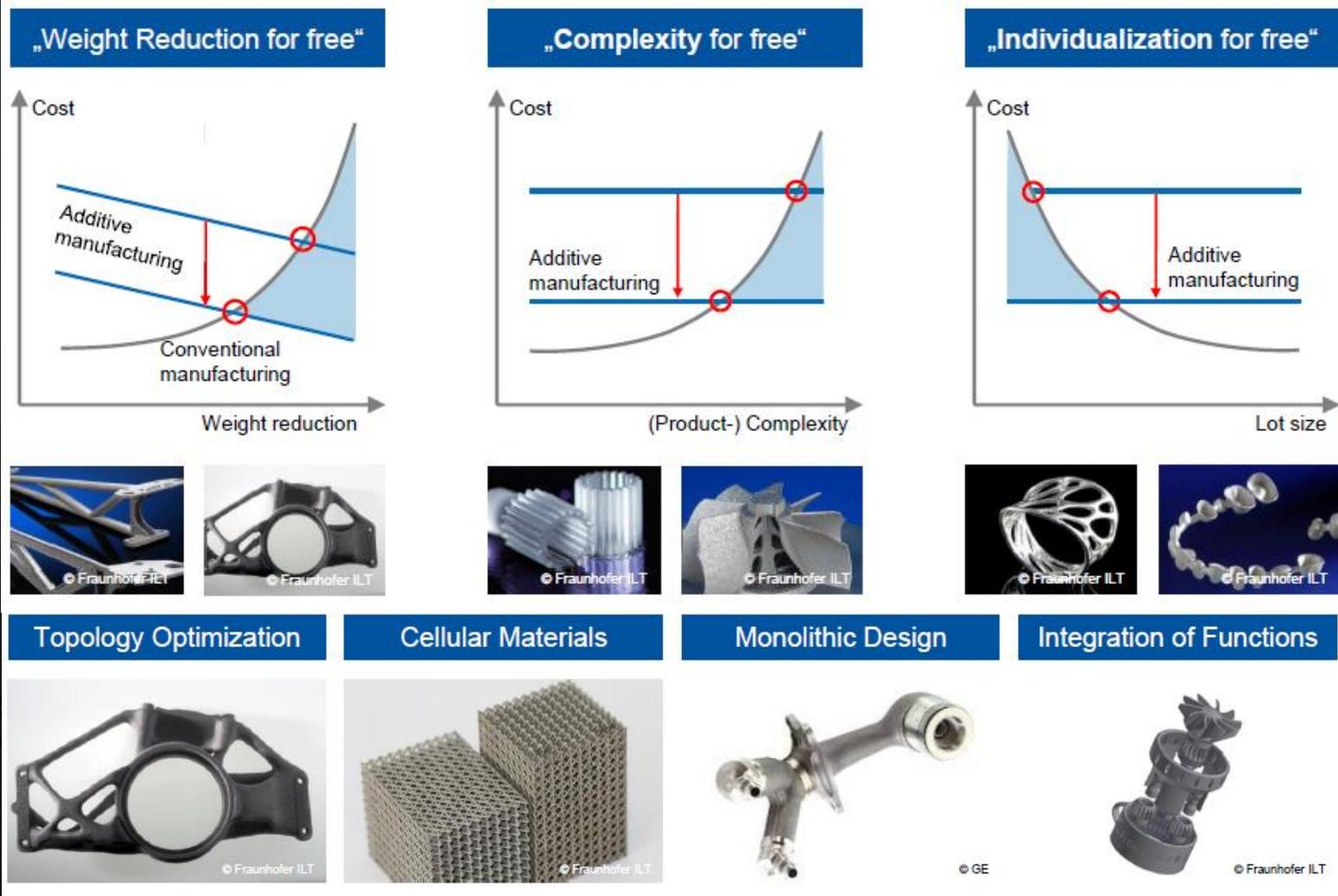
20 关键要素-设计

3D打印将从应用端创造价值，从而从产业链的价值赋能角度倒逼制造工艺向3D打印转移。

而创建竞争优势的关键是**设计和材料**。

为增材制造而设计的增材思维-DfAM正在全球范围内建立。

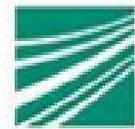
其中仿真驱动设计成为“玩转”3D打印的关键点之一。



5G

5G允许高密度数据的无缝互联和实时沟通,也就是Real Link-实时链接,对生产的控制是 Real Moment-实时控制,对技术的组合柔性能力是Real Combination-实时组合,对产品的实现可以Real Personal-实时个性化。

Fraunhofer弗劳恩霍夫IPT工业生产技术研究所以携手爱立信、亚琛工业大学启动了欧洲最大的5G数字制造工业园示范项目,旨在在制造业环境中引入新的移动无线标准。快速的5G数据传输可将所有生产和传感器数据存储在包含完整生产历史记录的数字孪生体中。室内近7000平方米研究和示范空间,代表了生产技术激光制造、3D打印等等所有领域。



Fraunhofer

IPT

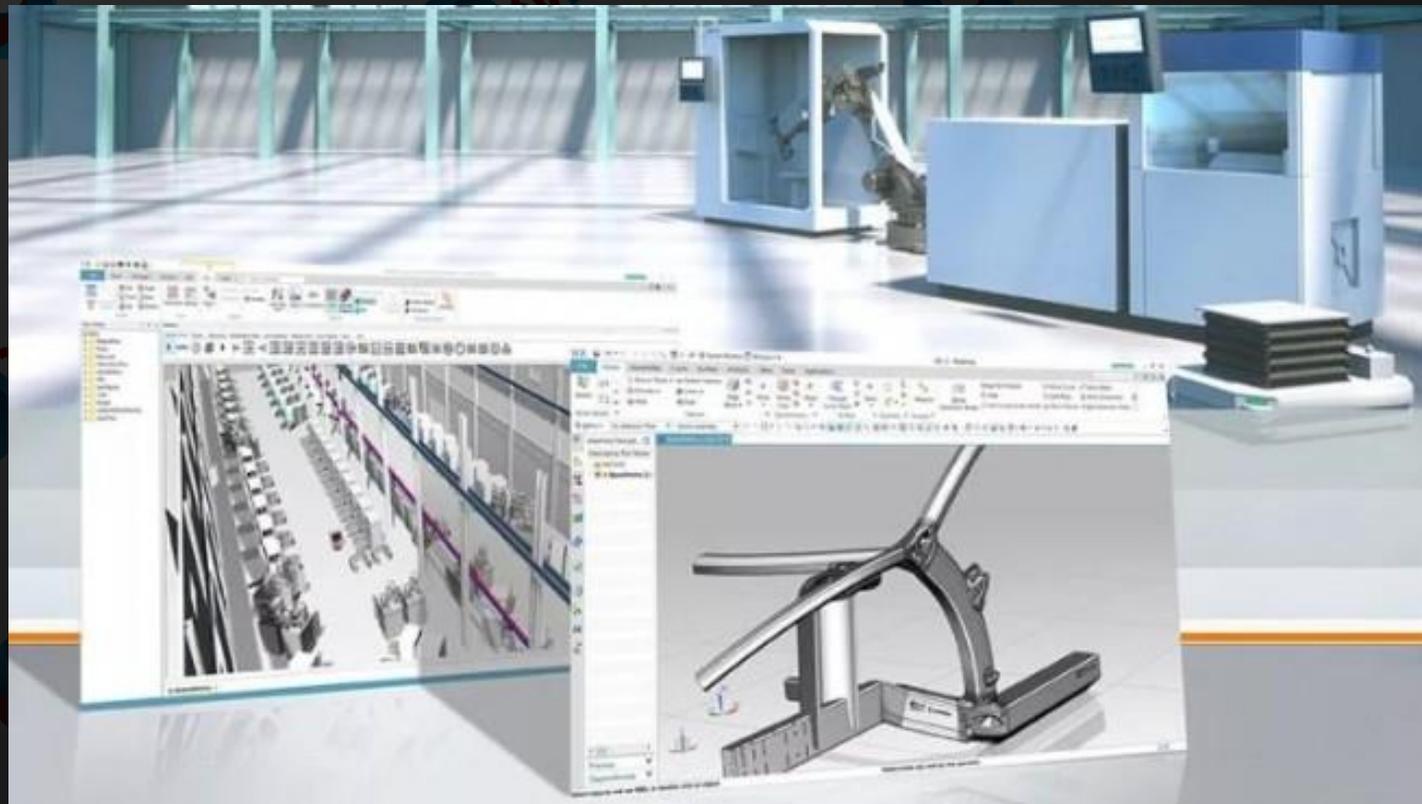


3D打印用基板与机加工用夹具二合一, Fraunhofer推出突破性的数控加工后处理方案, Fraunhofer IPT开发的夹紧系统使夹紧和定位基准在整个工艺链中实现标准化

工业物联网

各行各业日益增长的挑战需要全新解决方案来优化生产力和生产效率。关键在于创新利用机器和工厂数据，以获得全新洞察，实现机器、工厂、过程和产品的高水平数字化双胞胎。

通过将自动化、数字化以及人工智能、边缘计算、5G和区块链等尖端技术无缝融合，可将海量数据全面转化为宝贵的知识与技术，阔步迈入数字化转型的全新阶段。



图：西门子为工业物联网平台MindSphere提供了一个新的应用程序Fleet Manager for Machine Tools。借助这种基于云的应用程序（MindApp），可以监控全球小型或大型生产站点的机床，并提高其可用性和生产率。

OPTOMET软件通过人工智能自动计算工艺参数，这个软件的智能化程度很高，只需要输入粉末的参数和加工要求，系统会自动优化加工参数，这量级的节约了人工设置参数时间，并且避免了人工设置参数导致的大量报废零件产生。

仿真、数字孪生，人工智能是3D打印领域核心中的核心，目前国内的3D打印基于大量试错的发展道路，这是制约3D打印进入产业化的瓶颈，需要重视和克服。

软件赋能3D打印产业化发展，我国在对3D打印的发展制定支持政策的时候，软件是重要的考量因素。



4μRa	12μRa
With	Without
AMOptoMet	AMOptoMet

AMOptoMet

AI for parameter optimization.

- Excellent Surface finish.
- Faster build rate - 30% reduction in cycle time.
- Advanced mechanical & Material properties calculation.
- Less porosity - approx >99.5% denser parts.

24 3D打印引领第四次工业革命-工艺融合

工艺融合

3D 打印并非是一座孤岛，而必须与其他传统制造工艺相融合，才能成为创造制造业附加值的“利器”。“3D打印只是制造的一环，将与其他工艺充分融合在一起，无缝衔接在制造流程环节中，将是3D打印进入制造业产业化的主旋律。

GF加工方案提供的广泛的产品组合，从电加工(EDM)、铣床、激光纹理加工、增材制造等制造技术组合如何提供一站式的解决方案，从而为航空航天、汽车、医疗、模具等行业提供生产的灵活性，降低复杂性，降低总体成本 (TCO)。

为更好衔接增减材而专门开发的夹具

+GF+

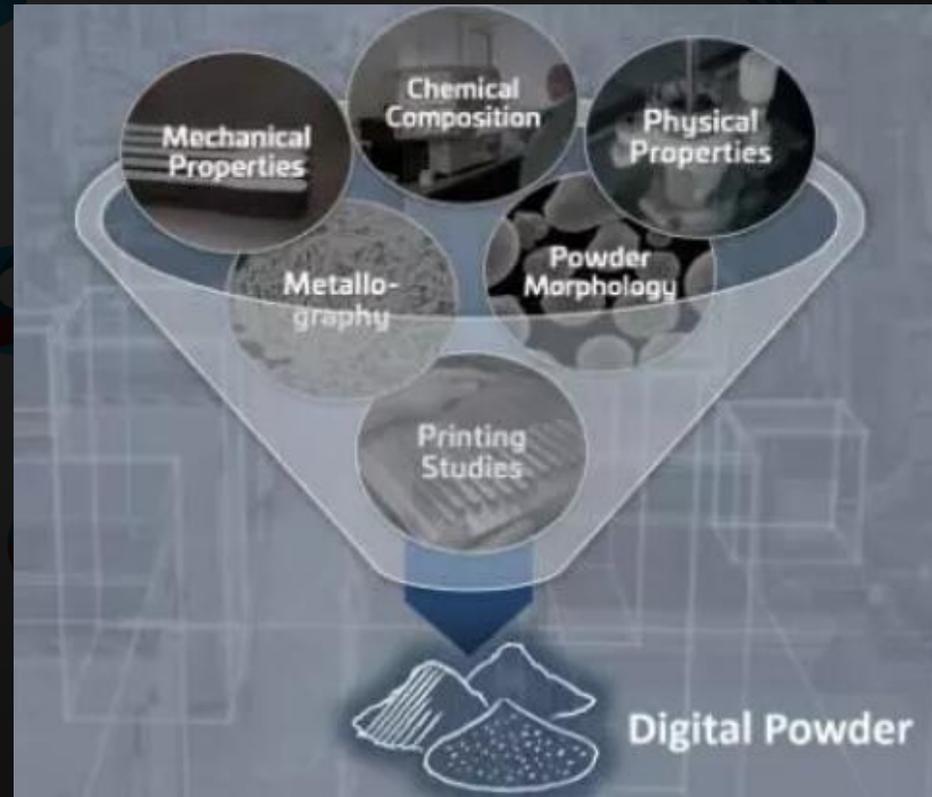


25 3D打印引领第四次工业革命-材料

材料数字化

目前整个增材制造金属粉末市场约为2000吨。GKN正在运营世界上最大的粉末雾化厂，目前已经生产了30万吨钢粉末。GKN正在将材料的数字化与零件增材制造建立联系，通过将GKN Hoeganaes的材料专业知识与增材制造组件功能之间建立数字联系，GKN正在加速从材料到零件的整个工艺链的数字化，从而为零件的致密性、质量的可重复性，认证过程提供数字化基础。GKN希望通过对材料和过程进行全面的数字描述来预测加工过程的结果。通过将整个环节以数字化作为铺垫，GKN获得大量的大数据，然后从结果中获得深刻的理解。这使得材料公司具备了深刻的数字化的DNA。

国内粉末材料企业在技术层面，除了需要有核心的制粉技术，还需要具备数字表征的能力，并且将材料的数字化融入到工艺的数字化之中。



正向设计

目前国内普遍将3D打印应用于产品原型的制造，产品的设计并没有根据3D打印的特点发生改变，而在应用的更高层次，包括“零部件组合优化”、“拓扑优化工业再设计”，以及以“创成式设计”为代表的DfF(面向功能实现)的全新设计，可以称之为“以增材思维为核心的先进设计”，是一种正向设计体系的思维和能力。

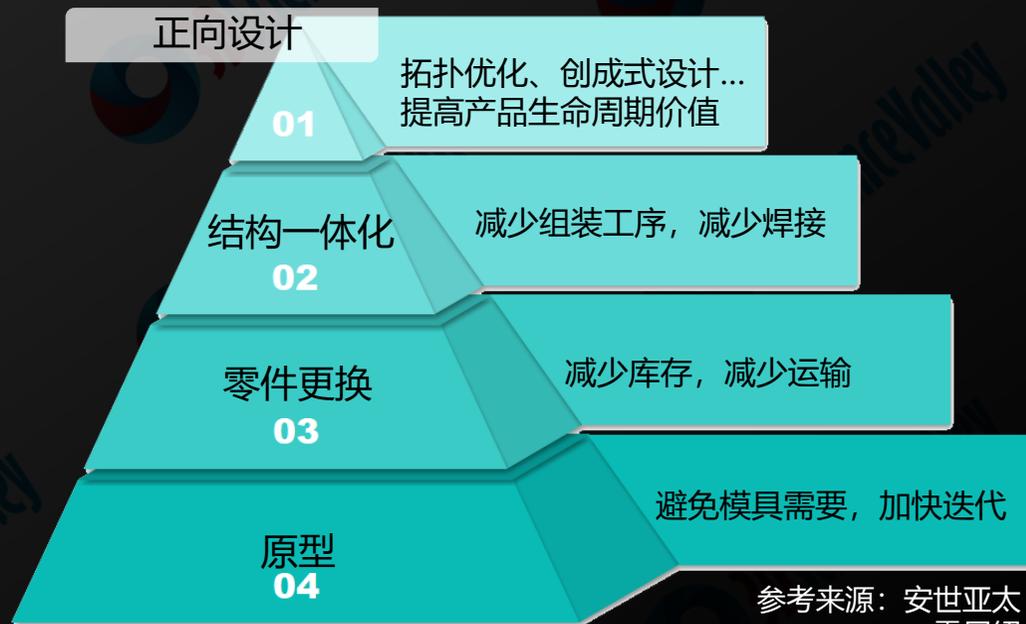
- 增材制造的价值台阶发展逻辑是正向设计能力所主导

- 以增材制造为主导的制造模式将大大提高复杂产品的逆向设计周期

- 正向设计能力是中国工业未来十年必须建立的能力

增材制造的制造业附加值台阶

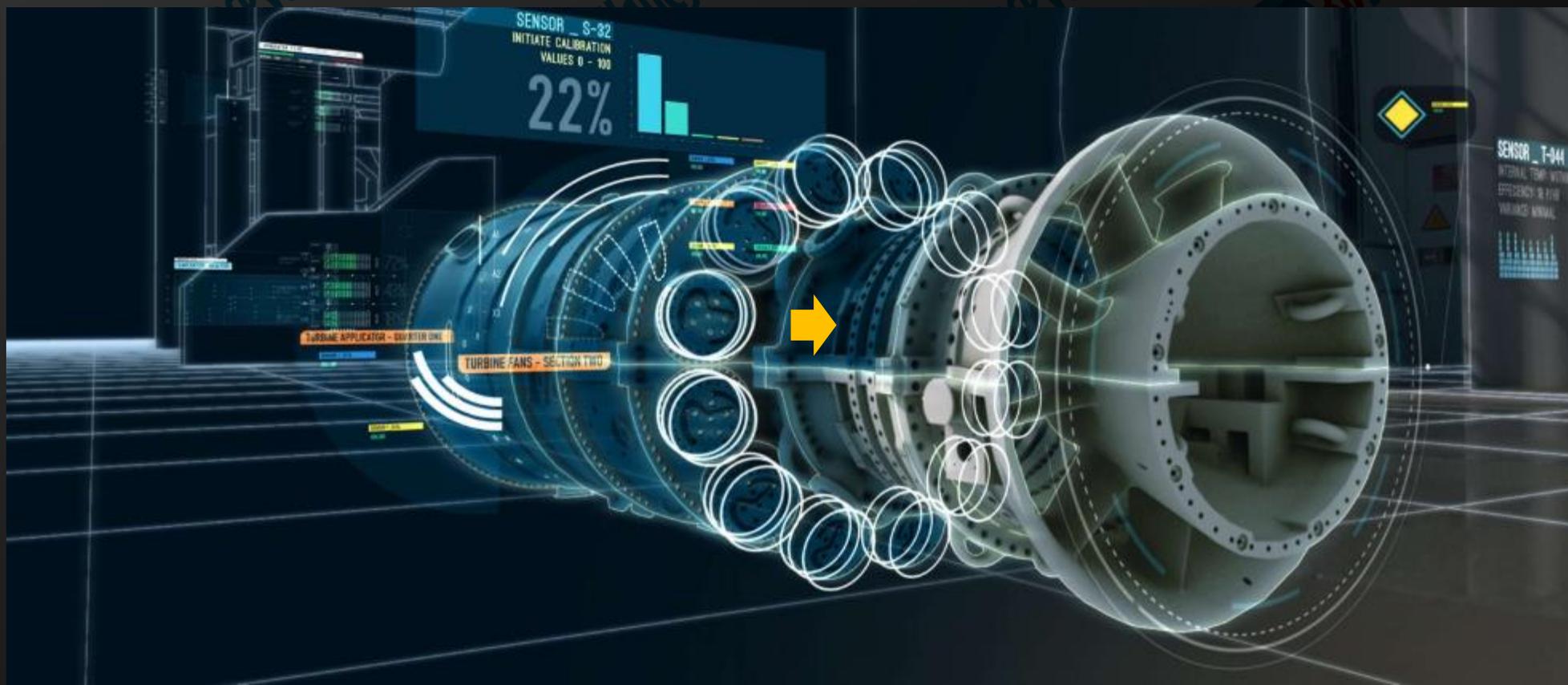
Manufacturing Value Ladder of Additive Manufacturing



参考来源：安世亚太
雷尼绍

27 数字孪生体技术

数字孪生体为跨层级、跨尺度的现实世界和虚拟世界建立了沟通的桥梁，是第四次工业革命的通用目的技术和核心技术体系之一，是支撑万物互联的综合技术体系，是数字经济发展的基础，是未来智能时代的信息基础设施。接下来的十年（21世纪20年代）将成为“数字孪生体时代”。



增材制造技术不仅易于将数字资产实体化，提高了各种优化应用的可行性；而且其全数字化的制造过程，也大大丰富了数字孪生体的数据资产，促进数字孪生体价值的发挥。这同时也是信息化（向数字化和智能化的更高阶段）和工业化（增材制造工艺突破）的深度融合，促进产业的服务化转型。

机器学习与物理建模相结合，不仅可帮助企业了解产品过去的性能表现，还能预测未来。通过数字孪生体技术非常详细地研究和测试复杂物理现象，将来金属3D打印设备可以作为自己的检查员，工业3D打印还可以整合人工智能和一定程度的自动化，从而进一步推动3D打印设备进入产业化，更深入地进入到最终生产用途的零件制造过程中。在生产所需要的更高速的构建率情况下，3D打印设备实现自我监测，并最终实现自动化的自我纠正/补偿，从而提高质量控制水平。

作为第四次工业革命的通用目的技术和核心技术体系之一，数字孪生体也是仿真技术应用的巅峰。关于数字孪生与产业的结合，请参考安世亚太设立的数字孪生体实验室发布的《数字孪生体技术白皮书2019》。

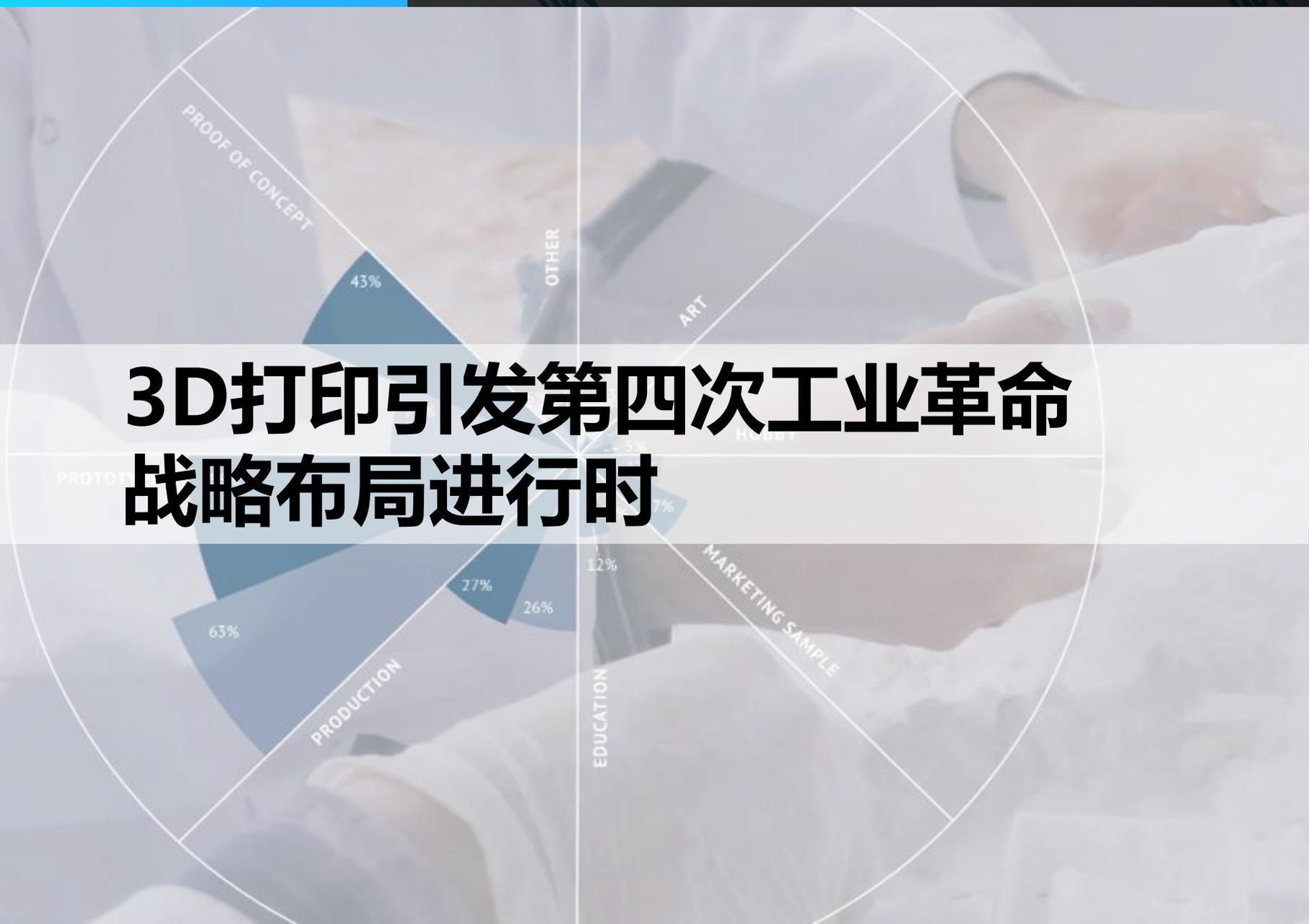


《数字孪生体技术白皮书（2019）》

是数字孪生体实验室对数字孪生体技术研究的重要成果

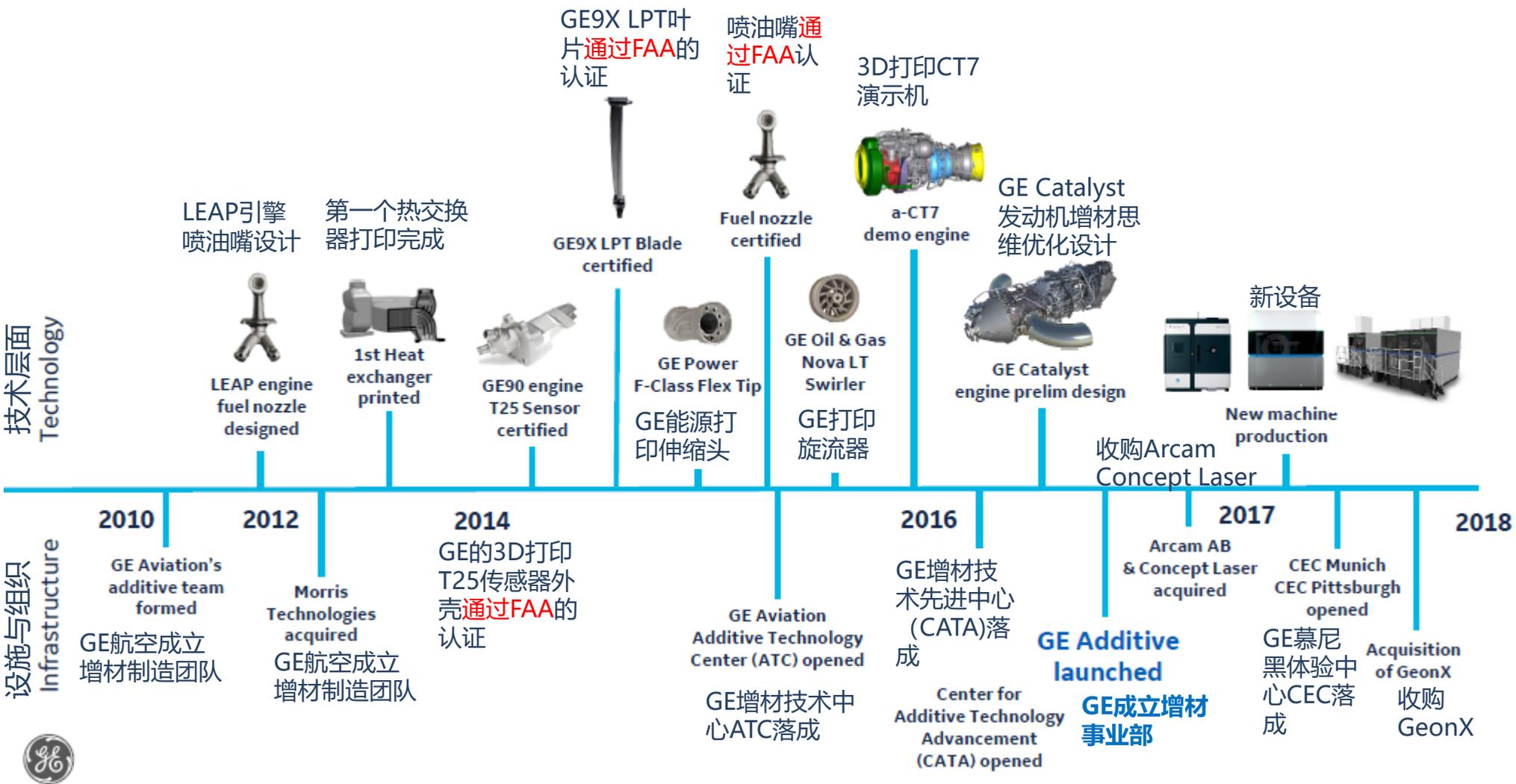
扫码关注数字孪生体实验室公众号
回复公众号：2019白皮书
即可获得共148页的完整版白皮书

3D打印引发第四次工业革命 战略布局进行时



技术层面
Technology

设施与组织
Infrastructure



GE的增材制造之路

2012年11月GE收购MORRIS Technologies 及其兄弟公司Rapid Quality Manufacturing (RQM) , 通过这次收购GE 给市场上传达了进军增材制造市场的雄心。

GE于2013年8月完成了对航空航天业务服务商Avio的收购, Avio Aero 是通过EMB 和粉末床金属3D打印技术制造航空零部件的领导者, 尤其擅长3D打印涡轮叶片。

2013年GE石油天然气部门在意大利佛罗伦萨工厂开设了增材制造实验室, 在实验室中安装了粉末床金属3D打印和设备, 用于制造叶轮机零部件和先进合金零部件。2016年5月, GE还在其位于意大利塔拉莫的石油天然气工厂开设了一条增材制造零部件生产线。

GE Additive (GE 增材制造部门) 在美国辛辛那提开始了增材培训中心 (ATC) , 中心拥有30台金属3D打印机和40台塑料3D打印机。

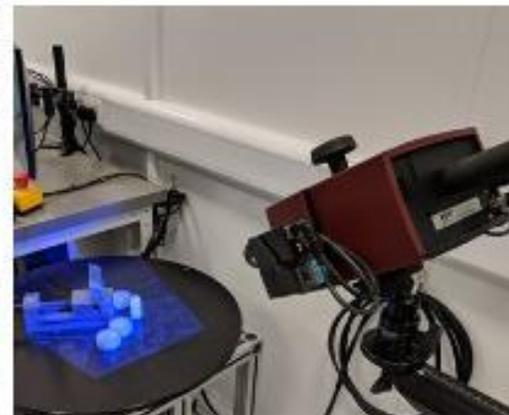
在2016年四月, GE就在匹兹堡开设了第一家增材制造技术进步中心, CATA的前期投资金额3900万美元。接着, GE电力在南卡罗来纳州格林维尔制造园区投资7500万美元兴建了一个增材制造技术进步中心。

2017年GE在德国慕尼黑投资1500万美元, 设立客户体验中心

2019年GE Additive于2019年9月13日在德国Lichtenfels开设了占地40,000平方米的新设施, 总投资达约1.05亿欧元, 该设施成为GE Additive Concept Laser的新址。

西门子的巨人视野与布局

西门子投资2个多亿的新厂隆重开启3D打印的工业化之旅，基于新工厂的设施，Materials Solutions现在的最大目标是真正将增材制造实现工业化。



西门子的感悟：如果你能3D打印叶片，你几乎可以制造任何东西... ..



32 大众的增材制造战略

大众将HP的金属3D打印技术上升为轻量化汽车制造战略，首先是进行大规模定制和装饰部件的制造，并计划尽快将Metal Jet金属3D打印的结构部件集成到下一代车辆中，并着眼于不断增加的部件尺寸和技术要求。

未来的目标是每年制造5万至10万个的足球大小尺寸零件。这些3D打印组件可能包括变速杆和后视镜支架等。增材制造将凭借其在轻量化方面的优势而在不断增长的电动汽车的生产领域中获得部署，HP预计不久的将来将生产经过完整安全认证过程的金属零件。



GKN的布局

GKN打造了三个增材制造卓越中心：GKN美国辛辛那提增材制造卓越中心，GKN 瑞典 Trollhättan增材制造卓越中心，GKN英国Filton增材制造卓越中心。

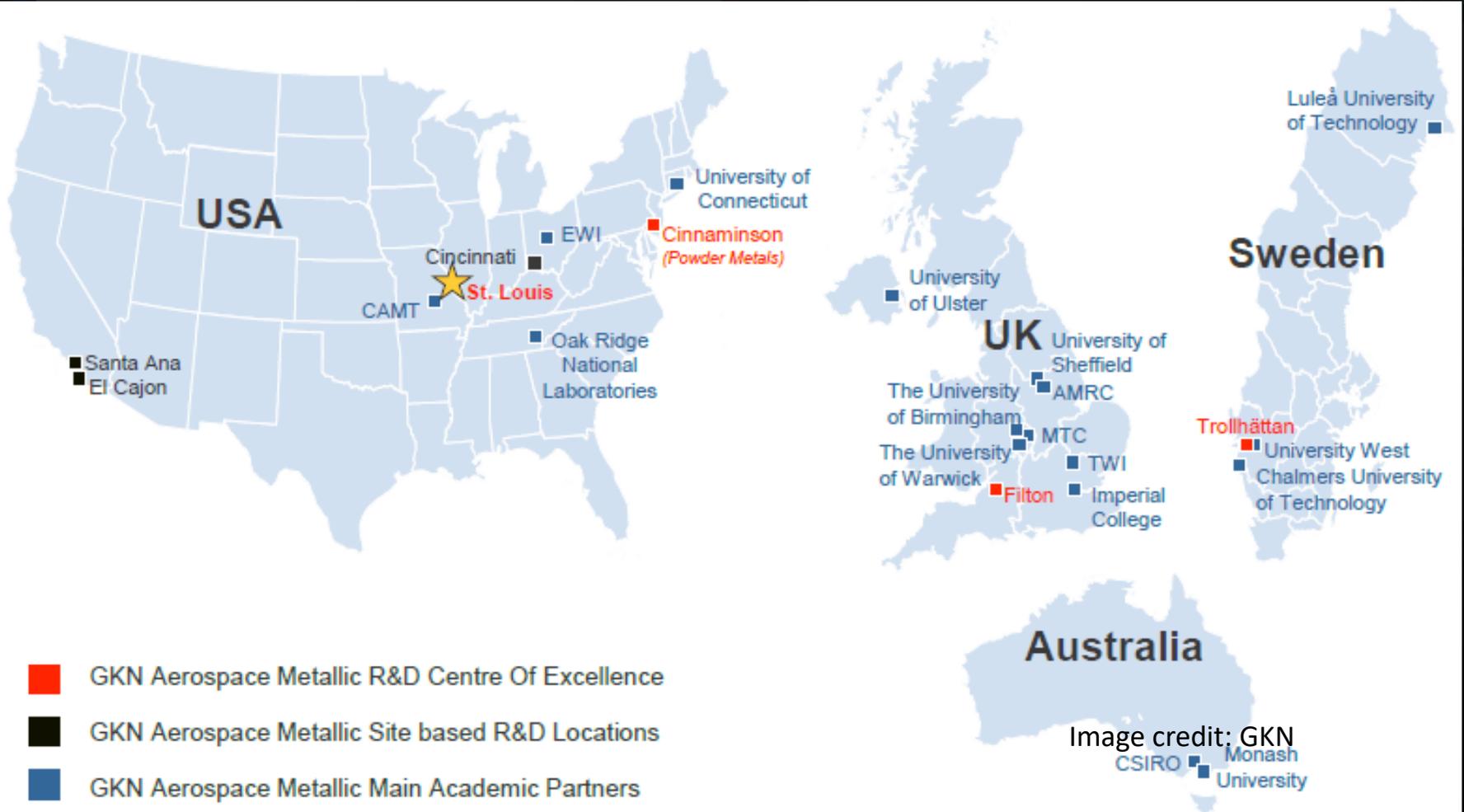


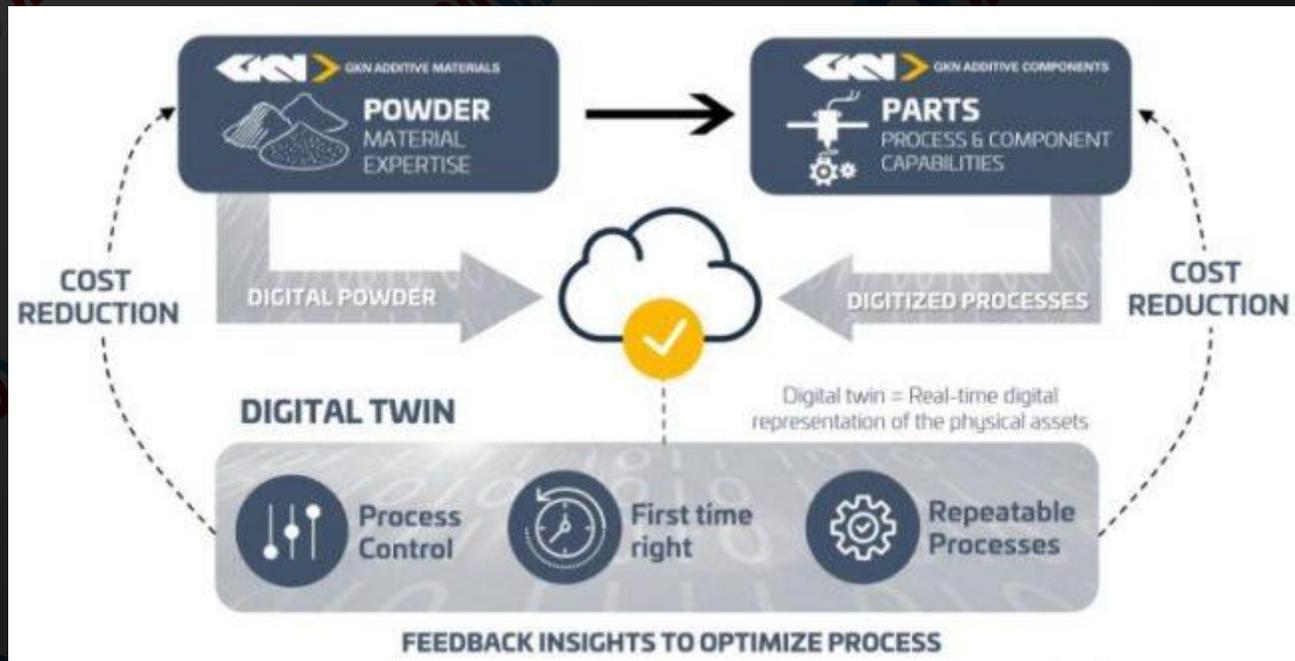
Image credit: GKN



2017年GKN在牛津郡阿宾登开设了一个新的创新中心。新中心将致力于为GKN的汽车业务开发先进制造技术，包括定制化的3D打印零部件、电动传动系统、复合材料等。新的创新中心剑指3D打印及复合材料技术用于下一代车辆开发。

35 GKN的布局-吉凯恩与惠普针对零件量产的需求，优化金属3D打印完整价值链

吉凯恩与惠普合作，对 Metal Jet系统和粘结剂喷射3D打印工艺进行优化，优化工作着眼于该技术的整个价值链，包括：优化粘结剂喷射金属粉末材料、面向该工艺的增材制造设计、打印工艺、粉末清除工艺，以及打印完成后的烧结工艺，并将完善基于该工艺的数字工作流程，为实现质量可重复的零件生产提供支持。



3D打印产业化 认知升级

SparkTALK



市场透视@星火联盟
Shaping The Insights
一起传播增材思维火种

3D打印与数字制造带来全球范围内价值链与供应链的不可逆改变

前端企业的设计采用了3D打印带来新一代产品后，这又反向要求后端的生产制造环节加快采用3D技术的步伐，以满足量产需求。需要注意的是，我们常常容易低估这种由于基础技术突破和先行者的积极采纳，给各行各业带来的累积影响，直至其成为行业共识而变成难以逆转的局势。

WE TEND TO OVERESTIMATE THE EFFECT
OF A TECHNOLOGY IN THE SHORT RUN AND
UNDERESTIMATE THE EFFECT IN THE LONG
RUN.

- ROY AMARA -

LIBQUOTES.COM

完善的传统供应链基础—对于3D打印应用接纳的挑战

我国做为制造业全球最大的市场，拥有着全球最完善的多级供应链体系，也逐渐形成了对于不同工艺甚至不同组件各司其职的专业分工。国内这一传统制造最强的优势，在新技术的采纳吸收上反而容易由于受益主体和标准不明确而形成空档期，国内暂时很少见端到端用增材制造解决工程整体从设计到生产制造的规模使用案例。

价值衡量的方式

作为庞大的制造工艺体系中的一部分，我们不能把3D打印独立为某个单元而在传统行业中进行等效替代，而应该把3D打印看作工业体系革新的心新思路，从全产业链来衡量增材制造的价值。

正向设计的必要性

我国在逆向反求方面的巨大成功让很多从业人员习惯了拿来主义，忽视了正向研发的必要性，考虑从概念阶段的探索，尝试到验证以及适当的保密时间，我们所看到欧美案例而有所启发的时候，他们已经在至少五六年前就开始探索了，这才是最大的差异。

伟大创新的每一步，其本身都是平凡和普通的

通过TS16949的认证的宝马汽车量产的I8跑车的顶棚支架从最开始的拓扑优化到打印策略优化，最终获得了支架的性能方面刚度的提升且实现轻量化。通过3D打印做到60000件/年的情况下具备与例如铸造工艺相比的单件成本性价比优势。然而，不可忽视的是这个过程历时多年，如果没有行业的协同，没有阶段性突破的肯定，我们今天会仍然停留在质疑和讨论的阶段。

国内汽车行业转型之路的三大“黑洞”

第一个“黑洞”：习惯与思维的局限

汽车是采用3D打印技术最早的行业，不过持续了30多年几乎都是用作原型制造，这么多年已经习惯用做原型的眼光看3D打印了。原型“向左”，生产“向右”，背后是对思维局限的挑战。

Solution: 突破思维局限，车企可以尝试建立3D打印卓越中心连接内外部资源。3D打印卓越中心能够更好地完善现有的3D打印方法并为推广3D打印技术做准备，同时创建度量标准，重点改进设计创新，健全关键流程标准化，并重点改进质量和检验流程。3D打印卓越中心还可以作为供应链合作伙伴的培训机构或体验中心，并为企业内部的团队提供培训机会。

第二个“黑洞”：逆向设计的困局

正向设计与3D打印优势的结合、人工智能与工艺开发的结合、数字孪生与生产控制的结合是推动3D打印产业化的“三驾马车”。

Solution: 走出逆向设计困局，国内可以借鉴欧洲Fraunhofer的发展模式，鼓励研发商业模式的发展，制造企业在良性的研发创新支持的环境下，向企业外部寻求颠覆性创新支持，实现多赢、优势互补的发展。

第三个“黑洞”：静态供应链的束缚

3D打印技术由于其天生的数字化特征可以说是最为贴合动态供应链的制造技术。陷入牵一发而动全身的多年固化下来的静态供应链陷阱，这不仅仅是汽车行业面对的挑战。

Solution: 他山之石可以攻玉，无论是研发还是产品制造，企业在发展过程中，除了加强自身的创新实力，寻求与市场上的优势资源相结合是另外一条加快发展的路径。



**3D打印产业化
标准、质量检测**

交通

航空航天

医疗

消费品



Figure 2. Qualification Process

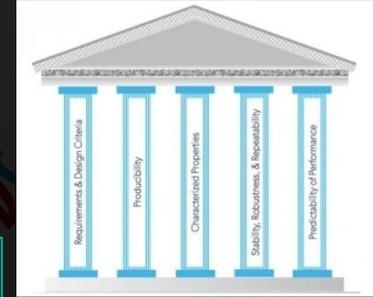
Industry	Quality Standards	Oversight Agency
Transportation	IATF 16949 / ISO 9001	NHTSA
Aerospace	AS 9100 / ISO 9001	FAA
Medical	ISO 13485 / ISO 9001	FDA
Consumer Products	ISO 9001 / UL / ASTM F963 among others...	CPSC

Table 1. Applicable Industry Standards and Certifications

来源：Jabil



参考来源: NASA



第一个支柱-要求和设计标准 (Requirements & Design Criteria)。 零部件的设计可能美观大方，但是如果装配在机械中不能满足既定的性能要求，则没有任何意义，也就是说如果一个零部件无法完成它的“本职工作”，则不会获得认证。

第二个支柱-可生产性 (Producibility)。 这是个关键阶段，具有可生产性意味着，在不产生过多报废和返工的情况下，进行零件的制造。

第四个支柱-与可生产性密切相关的是第四个支柱-稳定性，稳健性和可重复性 (Stability, Robustness, and Repeatability)， 这实质上意味着生产中的每个零件都符合用于初始认证的零件所展示的要求。

第三和第五个支柱：零件的特性 (Characterized Properties) 和性能的可预测性 (Predictability of Performance)， 这意味着材料特性和材料与工艺参数之间的关系已得到很好的理解，设计人员可以放心地使用性能数据来设计零部件。

42 FAA出台增材制造领域路线图

美国联邦航空管理局（FAA）于2017年9月底提交审查文件，制定了“增材制造战略路线图”草案，路线图包含重要的监管信息，涵盖认证、机器和维护、研究和开发的问题和考虑，以及对增材制造方面教育和培训的双重努力需求。

在制定路线图之前，FAA对增材制造当前所面临的挑战进行了详细的研究，包括对可接受的关键制造参数的理解限制，对关键机械和材料缺陷的理解限制，工业数据库的缺乏，无损检测技术的开发，缺乏工业规范与标准等等。

撰写这样一个综合路线图的主要挑战之一是开发可以涵盖所有新流程的系统。包括技术分类都是一个挑战，工作组尝试通过不同的角度来进行分类，例如以原材料形状来分类：粉末、线材、液体等，也可以通过加工中使用的能量来分类，激光、电子束、等离子弧等。

➤ Regulations that apply to the certification of specific products (aircraft, engines and propellers):

- Similar Requirements
- Part 21 – Certification Procedures for Products and Parts
 - Part 23 – Airworthiness Standards: Normal, Utility, Acrobatic and Commuter Airplanes
 - Part 25 – Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes
 - Part 27 – Airworthiness Standards: Normal Category Rotorcraft
 - Part 29 – Airworthiness Standards: Transport Category Rotorcraft
 - Part 33 – Airworthiness Standards: Aircraft Engines
 - Part 35 – Airworthiness Standards: Propellers

43 FAA在增材制造领域的规范

- **2015年6月3日**，FAA发布了AIR 100-15-130-GM39《增材制造认知》备忘录，提出由设计、制造和适航部门（AIR-100）组建了增材制造国家团队（AMNT），收集有关AM应用的信息，并作为正在开展的AM认证研究的技术资源。这些信息将有助于AMNT识别技术问题，并研发促进AM零件获得FAA认证的指南。

- **2016年7月7日**，FAA发布了AIR100-16-130-GM18《粉末床熔融增材制造零件的工程考虑》备忘录，该备忘录不提供AM部件认证的指导，而是从产品设计、原材料、成形过程、后处理、检测方法、工艺验证、材料设计值获取以及其他方面（包括技术文件、电子文档、过程控制、成形中断、异质污染物控制、可追溯性等）提出了疑问（考虑）。这些工程疑问（考虑）是为与申请人进行认证讨论提供良好的出发点，并在需要问题文件（IP）中进行记录，为后续的适航审查定与认证奠定基础。

- **2016年9月30日**，FAA发布了AIR 100-16-110-GM26《增材制造设施和过程的评估》备忘录，旨在帮助航空安全审查员（ASI）对AM设施及过程进行评估，协助审查员采集关键工艺参数，并从人员培训、场地设施、技术数据、原材料处理、设备、软件控制、制造过程有效性、制造过程监控、检测、冶金过程等方面进行全流程过程审核，并积累数据、更新迭代、并进行新的认证活动。随着增材制造工艺与流程的成熟及行业标准化的完善，增材制造国家团队（AMNT）预计会对该文档进行频繁修订。

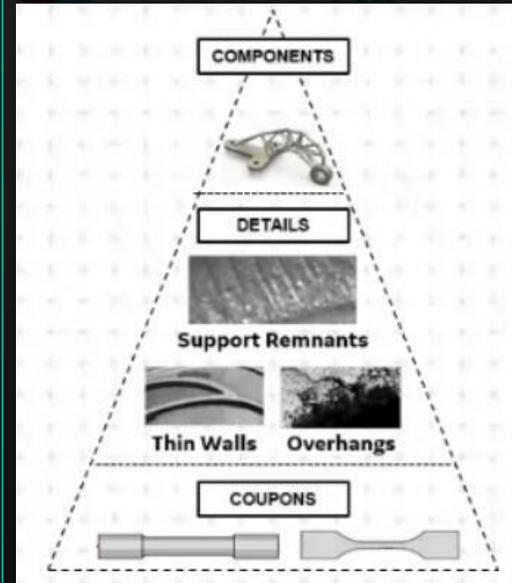
- **2016年11月30日**，FAA发布了NOTICE 8900.391《飞机、发动机、螺旋桨中的增材制造维护、预防性维护及更换》，主要是为飞行标准服务（AFS）人员参与飞机、发动机及旋翼类飞行器的维护、预防性维修及更换时提供认证与监督的指导，同时对于FAA管理、运营及行政人员也可以参考这份文件进行相关的工作。该文件的实施有效期定为1年，并于2017年11月30日废止使用。

44 FAA在增材制造领域的规范

- **2018年**，FAA发布了咨询通告AC 33.15-4《粉末床熔融增材制造成形涡轮发动机零件及修复指南》的征求意见稿。FAA的咨询通告（AC）是FAA向所有飞机型号申请人给出的一种适航符合性验证方法（非强制实行），用来表明对适航条款或专题的符合性，按此方法验证，FAA直接认可，原则上CAAC/EASA也是认可的。虽然这份文件不是FAA最终发布的文件，但对于如何保证增材制造（此处仅为粉末床熔融（PBF）方法）产品质量仍具有重要的参考价值与意义。下面将对AC 33.15-4中的规定进行简述。

AC 33.15-4给出的是一种可接受的方法，用于证明通过粉末床熔融（PBF）增材制造（AM）成形涡轮发动机零件及零件产品的维修与联邦法规 14 CFR §33.15的符合性，并对AM相关设计与制造等方面提供了指导。由于PBF AM成形的工艺依赖性强，其材料的设计值不仅与制造商采购原材料的变异性相关，而且还与用于制造生产零件和维修的制造工艺所引入的变异性相关。必须对全流程的参数变量有充分的理解，才能达到稳定和可重复生产零件所需的控制水平。因此，AC 33.15-4在材料设计值、设计、材料与成形、后处理、检测、工艺验证等6方面给出了指导。

在材料设计值方面，AC 33.15-4提出要建立规范的测试程序，采用典型、有代表性（考虑成形批次、成形位置、试样取向、原材料批次等）的测试样本的基本准则；应考虑有效工艺窗口、产品的实际情况（各向异性、孔隙率、熔合不良情况等）、测试实验室的资质等方面对试样测试进行保障；采用类似于复合材料的积木式验证方法，通过试样级、细节件级、构件级等多层级积木式验证来保证产品研制；在成品材料设计许用值方面，要考虑增材制造材料各向异性的表征、最小材料设计极限值的建立、零件功能裕度的补偿等方面，最终建立材料设计许用值。



图：多层次积木式验证

45 FAA在增材制造领域的规范

对于增材制造这一强设计相关的制造技术而言，从适航的考虑**从零件设计**就应该开始考虑。AC 33.15-4从零件设计、零件取向、尺寸控制、表面状态、支撑结构、粉末去除等几方面进行指导。零件设计时，应充分考虑各向异性、增材制造特有缺陷以及缺陷的最佳检测时机与方法；依据材料各向异性特性、残余应力的产生、自支撑及悬垂曲面的特点来考虑零件成形时的取向；考虑工艺及装备的成形能力、残余应力的产生与消除、后期热处理及热等静压等热循环的要求来控制制件产品的尺寸；考虑零件的表面光洁度要求、内表面处理、表面状态对于力学性能、可靠性的影响以及零件产品防护涂层的涂覆；考虑零件生产时支撑结构数量的减少以及支撑结构对于传热与保形的作用；考虑粉末去除，并制定相应的程序规范，验证潜在残余粉末对于零件预期功能的影响。

在材料与制造方面，主要从材料与工艺的研发以及材料与工艺控制等方面提供认证指导。在材料与工艺研发阶段，充分考虑变异性来源，并采取适当的控制措施，减少材料性能变化；通过原材料规范、熔融工艺规范、热处理规范、人员资格鉴定与认证、设备鉴定、维护与校准等方法，进行合格冶金工艺的鉴定，批准后能始终如一生产符合设计要求的零件；在材料与工艺控制方面，应考虑建立原材料规范、原材料再利用要求、工艺规范、零件材料规范等方面的标准化文件用于适航认证。

在成形后处理方面，必须规范并说明成形后工艺及程序，包括：残余粉末的去除、残余应力定义及解决方法、取件方法及顺序、支撑去除的方法及顺序、热处理与热等静压的过程参数及显微组织要求、防护涂层涂覆的技术规范及其对材料性能的潜在影响。

46 FDA在增材制造领域的规范-设计与制造工艺

美国食品药品监督管理局（FDA）于2016年5月10日发布了关于增材制造医疗器械的技术考虑的指南文件草案，并于2017年12月5日发布了该指南文件的正式版本。

1) 总体设计

FDA建议生产企业假设将要生产的最终器械的生产参数和条件，将最终成品器械所需特征尺寸与3D打印的最小可能特征尺寸以及

2) 患者匹配器械设计

患者匹配器械的设计可以由临床人员，器械制造商或第三方直接修改以响应临床输入。单个机器的制造公差进行比较。

3) 软件工作流程

包括文件格式转换，数字器械设计到物理器械

4) 材料控制

包括原材料，循环使用材料

5) 后处理

最终器械的性能和材料特性会受到3D打印后处理步骤的影响。所有的后处理步骤都应该形成文件，并包括后处理对所用材料和最终器械的影响的讨论。

6) 过程确认和验收活动

7) 质量数据

制造商应该确保可以分析构建体积位置等质量数据，以便正确识别质量问题并调查不合格的原因。

47 FDA在增材制造领域的规范-器械测试的考虑

FDA推荐在上市前申请中应包含如下信息。

1)器械描述

2)机械测试和尺寸测量

在进行器械的测试时，应考虑到方向和构建位置可以影响最终性能，识别最差情况进行测试。

3)材料特征

包括化学特征，物理特征

4)去除生产材料残留和灭菌

5)生物相容性

关于生物相容性测试的考量，都要按照ISO 10993系列标准和FDA的相关指南文件进行。

6)标识

48 ASTM五个最重要的增材制造标准

1. 增材制造技术的标准术语 (F2792)

F2792是ASTM通过的第一个增材制造标准，它于2009年发布，创造了AM的定义，实质上，术语包括与AM技术相关的术语定义，术语说明，首字母缩写词，旨在标准化AM用户，生产者，研究人员，教育者，新闻媒体等使用的术语。通过为AM行业创建通用词典，该标准为AM标准的持续开发奠定了基础，并确保该领域的每个人都可以开始使用相同的语言。

2. ISO / ASTM 52900-AM术语-一般原则-术语

ISO / ASTM 52900于2015年发布 (替代 F2792)，ISO / ASTM 52900大大扩展了原始术语。也是国际标准化组织 (ISO)，ASTM国际标委会共同制定并接受的AM的第一个标准，随后又被欧洲标准化委员会 (CEN) 接受。该标准将全球标准组织围绕增材制造领域统一起来，并协调跨界和跨行业的标准制定。该标准的另一修订版目前正在开发中，其中将包含更详细的准则和针对该行业的进一步说明。

3. Titanium-6 Aluminum-4 Vanadium粉床熔化增材制造的标准规范 (F2924)

本标准涵盖了使用粉末床熔化 (例如电子束熔化和激光熔化) 进行增材制造的钛铝合金。它是ASTM制定的早期标准之一，通过对原料和供应链制定规范，为增材制造的早期应用方提供了工业环境中增材制造处理的宝贵观点。从这个角度来看，F2924对于那些希望进入AM-增材制造领域进行工业生产的企业来说，可以是一份有价值的教育文件。此标准于2012年发布，提供了丰富的参考资源，这些参考资源已帮助众多增材制造企业起步。

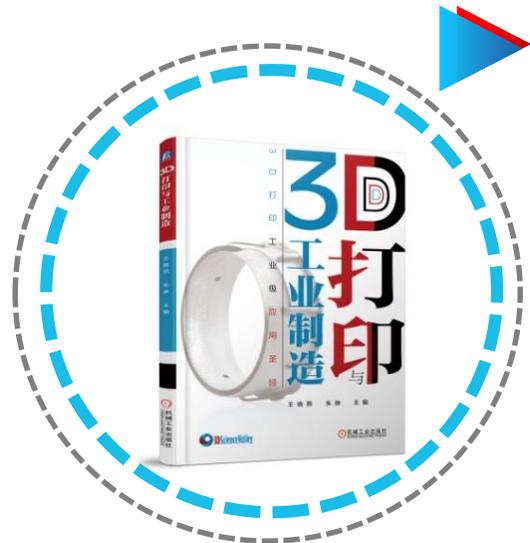
4. ISO / ASTM 52901-增材制造-一般原则-采购AM零件的要求

ISO / ASTM 52901于2017年发布，提供了有关购买增材制造M零件时用户应注意的外观和要求的详细规格。每个零件应列出什么要求？它应该细化什么质量？尽管此标准对买方很重要，但对AM增材制造产品的制造商而言甚至更具影响力。在ISO / ASTM 52901的帮助下，生产商才能够更好地了解买家的要求以及他们每个零件都需要提供什么。

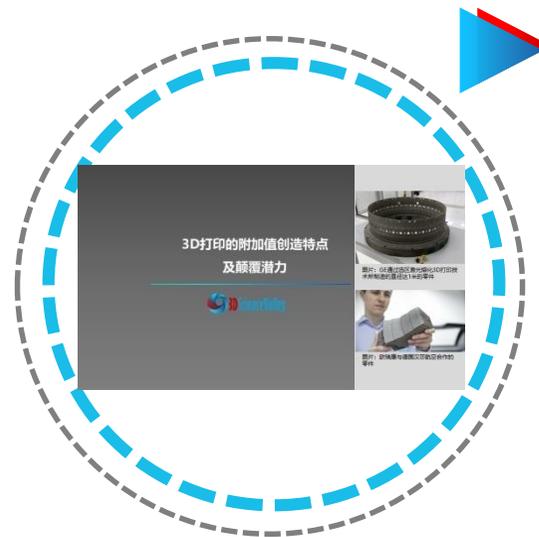
5. ISO / ASTM 52910-AM设计准则 (ISO / ASTM 52910)

ISO / ASTM 52910通用指南提供了在产品设计中使用的增材制造的要求和建议，52910的开发由ASTM开始，但最终经过修改以作为ISO / ASTM联合标准发布。由于通过增材制造技术来制造产品与传统制造方法的根本是不同的，因此成功使用AM需要一种方法来作为准则依据。

敬请关注3D科学谷微信公众号，或参考3D科学谷出版物（京东、当当有售）



《3D打印与工业制造》
京东售书链接



3D科学谷
机工讲堂微课视频链接



3D科学谷微信公众号



3D科学谷系列白皮书
微信版本



3D科学谷系列白皮书
Pdf版本formnext网站下载



3D科学谷系列白皮书
3D科学谷QQ群下载



- ❑ 本书中包含的数据、部分内容来源于网络或其他公开资料，版权归原作者所有。任何以盈利为目的使用，所产生的后果由使用者自己承担。
- ❑ 本书中所有引用的数据都已标明出处，如任何个人或单位认为内容存在侵权之处，请及时与我们联系，3D科学谷将及时给予处理。
- ❑ 3D科学谷力求内容的严谨性，但限于时间和人力因素，书中难免有不足之处，如存在失误、失实，敬请您不吝赐教、指正。我们热忱欢迎各界专业人士免费加入3D科学谷交流平台。
- ❑ 本书内容仅作交流学习之用，不构成任何投资建议，请读者仅供参考。