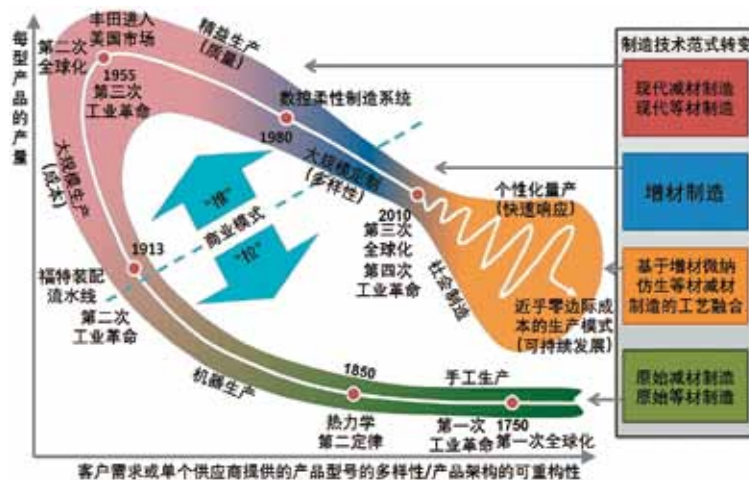


基于正向设计和增材制造的高端研发与先进制造整体解决方案

增材制造是指基于类似数学微积分的离散 - 堆积原理，由零件三维数据驱动和计算机自动控制实现精确可控的，逐层增加材料直接制造零件的数字制造技术。相比减材和等材制造，增材制造无模具、无工装，但它绝不仅仅是一种新的制造加工工艺方法，而是新一轮科技革命和产业革命中将会改变人类生产方式和生活方式的重要引擎和颠覆性技术体系。这种颠覆性体现在，除了这种新的制造工艺自身带来的优势以外，更重要的是，它实现了结构设计、高性能材料制备、复杂构件制造的一体化，并为宏观上的结构设计和微观上的材料制备带来革命性的变化。



人类生产模式和制造技术的螺旋上升式发展

增材制造技术背后的增材思维是一场设计的革命，它完全打开了设计枷锁，DFM（制造）、DFA（装配）等基于减材制造的传统设计方法少有用武之地，设计人员可以真正回归用户需求，进行面向功能的设计（DFE）或面向增材制造的设计（DFAM），按照价值、功能和能量的观点，使设计与工艺、设计与制造之间不再是因果与顺序关系而是互为激励的活系统，以效法自然的方式实现大型 / 超大型构件或结构系统、复杂 / 超复杂构件或结构系统、多品种小批量个性化产品的低成本创新设计和快速制造，乃至创造超常结构实现超常功能。

安世亚太经过多年基于对系统工程、产品正向设计和仿真分析的实际应用经验，结合增材行业应用的深刻题解，脱胎于资源全局优化配置的创新商业模式，提出了基于正向设计和增材制造的高端研发与先进制造整体解决方案，为《中国制造 2025》中的设计制造一体化提供可落地实施的解决方案。

一、技术架构

基于正向设计和增材制造的高端研发与先进制造整体解决方案的技术架构参照了钱学森在系统观点指导下 1980 年代初提出的“三个层次一座桥梁”的现代科学学科体系一般框架，包括基础学科层——系统工程、数学、物理学、材料学等，信息化使能环境——面向数字主线和数字孪生的数据协同、基于大数据和物联网的云制造，技术学科层——TRIZ 及技术创新和管理、拓扑优化、工程仿真、知识工程，工程技术层——基于系统工程面向增材制造的产品材料工艺一体化设计方法学、及其流程体系组合配置而成的正向设计咨询体系、先进制造工艺融合优选咨询体系、先进材料制备研备服务体系，工程实践层——面向工业品的解决方案体系(如飞机、航空发动机、汽车、模具等)、面向产业链的解决方案体系(如创业者、消费者、高等教育和职业培训等公共事业、文创、建筑等)、面向工业化和信息化的产品体系(工艺和材料设备、软件工具和平台等)，核心内容为：

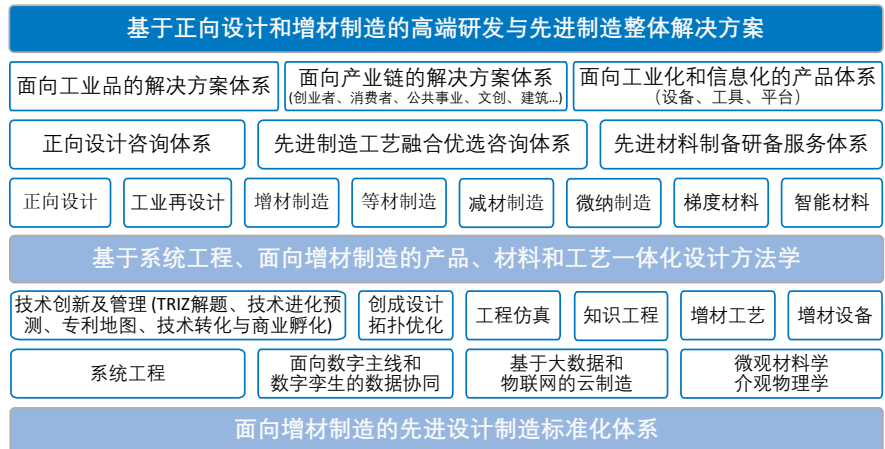


图 1 基于正向设计和增材制造的高端研发与先进制造整体解决方案技术架构

二、流程体系

面向增材制造的设计的总体流程如图 2 所示。这一流程涵盖了产品的需求分析、架构设计、详细设计等过程。在实际应用时，需要将这一指导性流程与双 V 模型的系统工程过程框架进行结合。图 3 给出了基于德国标准机械产品系统化设计 VDI 2221 的面向增材制造的设计流程，可以认为这是图 2 按 VDI 2221 在研发阶段上的具体化。

支撑上述面向增材制造设计顶层流程的是若干专业化子流程，如基于 MBSE 的系统建模、拓扑优化及仿真和创成设计一体化流程（图 4），面向增材制造的创成设计流程（图 5）等。

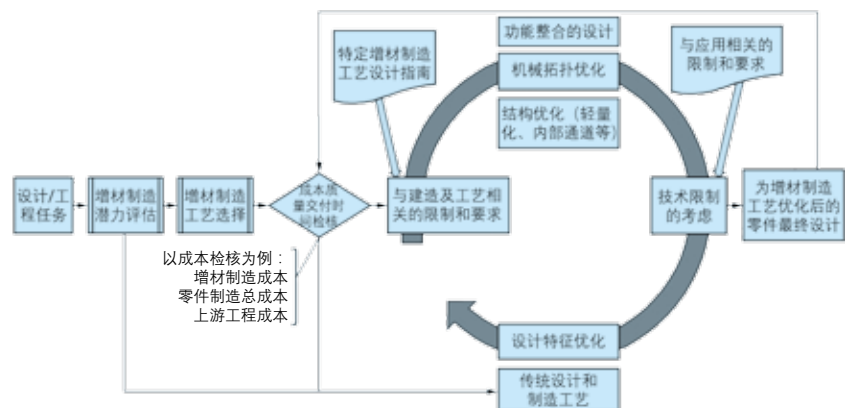


图 2 面向增材制造的设计方法的总流程

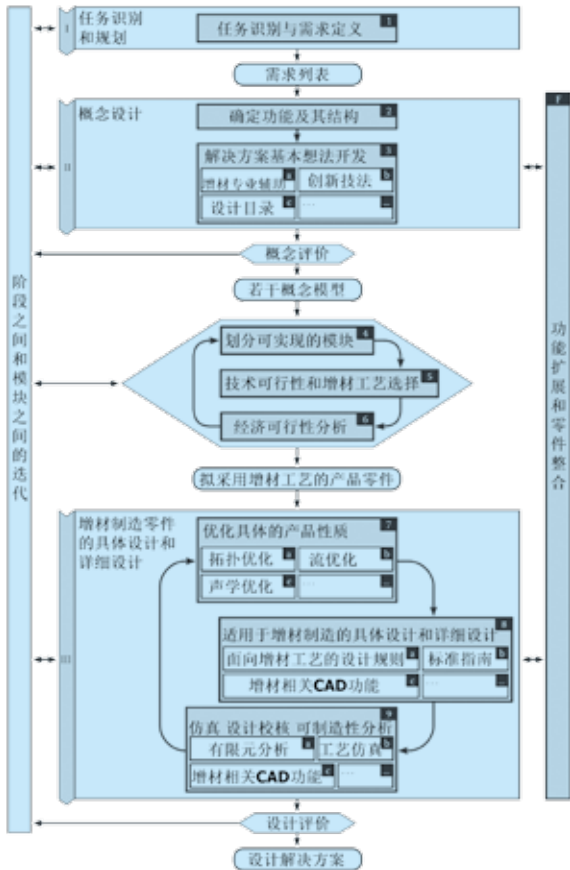


图 3 基于 VDI 2221 的增材制造设计流程

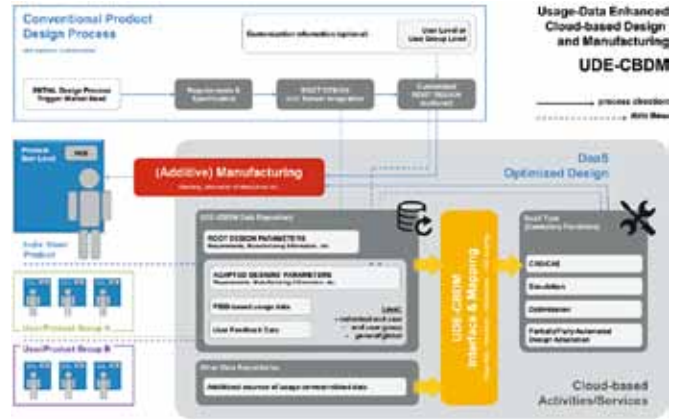


图 4 面向增材制造的云设计制造模式下的数据层服务示例

基于 VDI 2221 的增材制造设计流程见下图 3 :

正向设计和增材制造结合的解决方案，应用于工程海量数据、工业大数据、互联网大数据等不同种类的数据整合、分析、挖掘、展示场景，应用于产品模型数据的管理、融合和协同，应用于知识管理、知识工程、各种专业数据库 / 知识库建设，乃至应用于集团企业的商业智能和战略决策等。

三、成功案例

1、机器人手臂增材正向设计案例

图 5 是机器人手臂拓扑优化 --- 流程与演进 :



图 5 机器人手臂增材正向设计 --- 流程与演进

增材设计效果以及通过实际增材打印进行试验的情况见图 6：

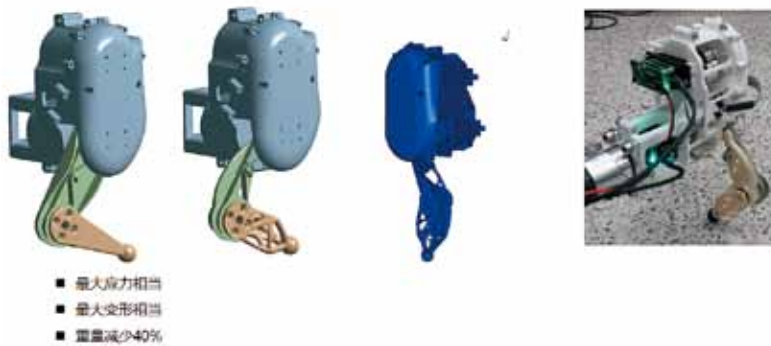


图 6 机器人手臂增材设计效果及实际试验情况

2、分流器封盖增材正向设计案例

分流器封盖有相应的设计输入和要求：

载荷：1.5 g 加速度，极限载荷 1kg

目标：精密高刚度放置，降低质量

目的：优化刚度

增材设计效果以及通过实际增材打印进行试验的情况见图 8：



图 7 分流器封盖增材正向设计 --- 流程与演进

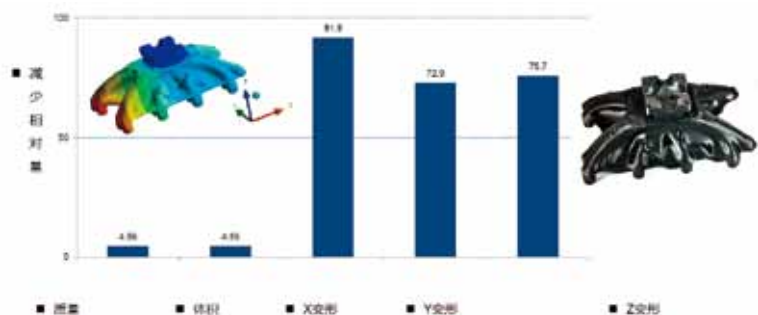


图 8 分流器封盖设计效果及实际试验情况

四、结论

增材制造与传统制造的关系，可以类比为经典物理和原子物理的关系，增材制造未来的发展也必定像原子物理、量子物理一样有着广阔而深远的前景。基于增材思维的先进制造技术体系正是中国制造业转型升级的“第二种机会窗口”，使得我们有可能换道超车。增材思维是一场回归设计本质、打破思维定势、释放设计自由度和激发创造力的革命；这场革命不仅是制造的革命，更是设计的革命，针对的不仅是产品研发设计人员，而是全体民众。安世亚太倡导的精益研发与基于正向设计和增材制造的高端研发与先进制造整体解决方案必然在这场革命中经受实际应用的洗礼，进而不断完善走向成熟，基于正向设计和增材制造的高端研发与先进制造整体解决方案就是安世亚太对“弘扬精益精神，创造智慧工业”这一初心和愿景的最新诠释。

