

# 增材制造中的智能化

# Intelligence in Additive Manufacturing

叶泊沅 Jiyuan Ye

精合集团  
镭明激光

首席战略官  
总经理

2020年8月

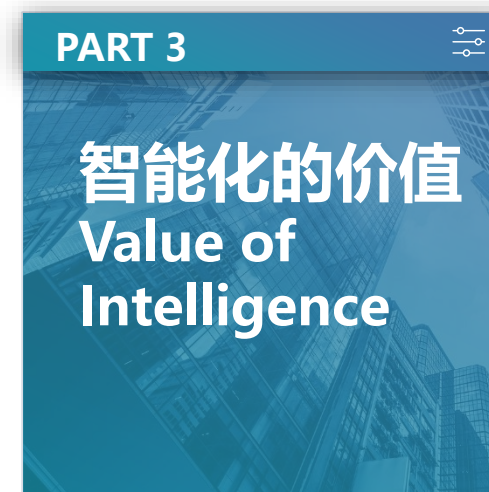


镭明激光  
LASER IS MAKING

- ◆ 随着增材制造技术应用从样件制造买入量产制造阶段，质量一致性与效率提升成为了关注的焦点。
- ◆ As the application of additive manufacturing is entering a new stage concerning mass production instead of prototyping, quality consistency and efficiency should become our focusing point.
- ◆ 增材制造从工艺设计开始，其制造和后处理工作大量依赖人的经验，这种依赖带来了成品质量的不确定性和低效率。如何利用智能化手段来提升质量一致性和效率，将是值得关注的问题。
- ◆ From process design to post processing, additive manufacturing involved several steps which were largely dependent on human experience. Such dependence may cause uncertainty on quality consistency and efficiency. With the intelligence brought by software and hardware, new approaches can be used to bring certainty.

# 内容 Contents

Business Process





# PART 01

## 公司简介 Company Introduction

天津镭明激光科技有限公司坐落于天津西青区中北工业园区，总占地面积20000平方米。

作为知名的增材制造服务企业鑫精合集团的全资子公司，始终专注为全球客户提供：

- SLM工艺金属3D打印设备
- LENS工艺金属3D打印设备
- WAAM工艺金属3D打印设备
- 辅助设备
- 相关服务及培训



设备组装车间



3D打印服务车间

1

## 标准化增材制造 解决方案

SLM工艺3D打印  
装备  
LENS工艺3D打印  
装备  
WAAM工艺3D打  
印装备  
配套辅助设备

2

## 装备定制服务

基于标准化平台，  
根据客户需要定制  
增材制造装备

3

## 材料与工艺 开发服务

根据客户产品需求，  
结合设备、材料进  
行工艺开发

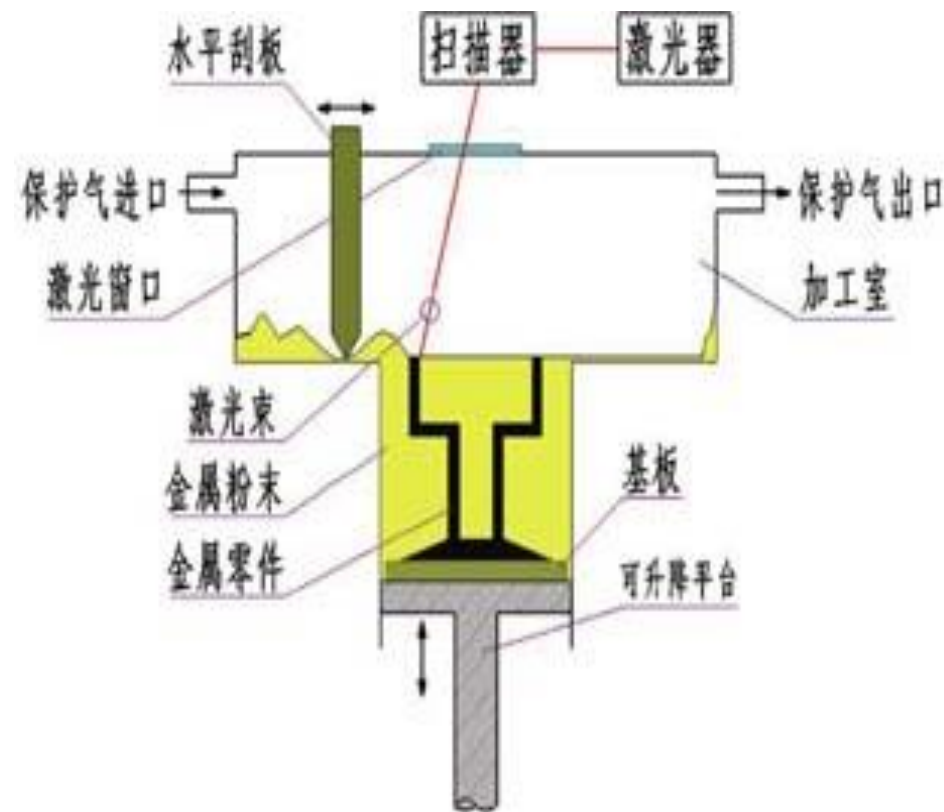
4

## 售后服务

设备安装、维护与  
保养服务  
备品备件销售  
技术培训等

## SLM——选区激光熔化(Selected Laser Melting)

SLM成形技术是目前金属增材制造中发展最成熟、应用最广泛的技术，采用激光功率较低、激光能量密度高、光斑直径小、粉末沉积效率低，但是制造精度很高，最小壁厚可以达到 $100\mu\text{m}$ ，构件性能可达到同成分锻件水平，精度远高于精铸工艺，零部件致密度近 100%。





LiM-X150A  
成型尺寸 $\varnothing 140 \times 160 \text{mm}$



LiM-X260A  
成型尺寸 $260 \times 260 \times 400 \text{mm}$



LiM-X400A  
成型尺寸 $400 \times 400 \times 500 \text{mm}$



成型尺寸从小到大，设备的复杂度和技术要求成指数增加：

- 激光器功率和数量；
- 风场设计；
- 结构密封性；
- 送粉机构；
- 取件及粉末清理流程；

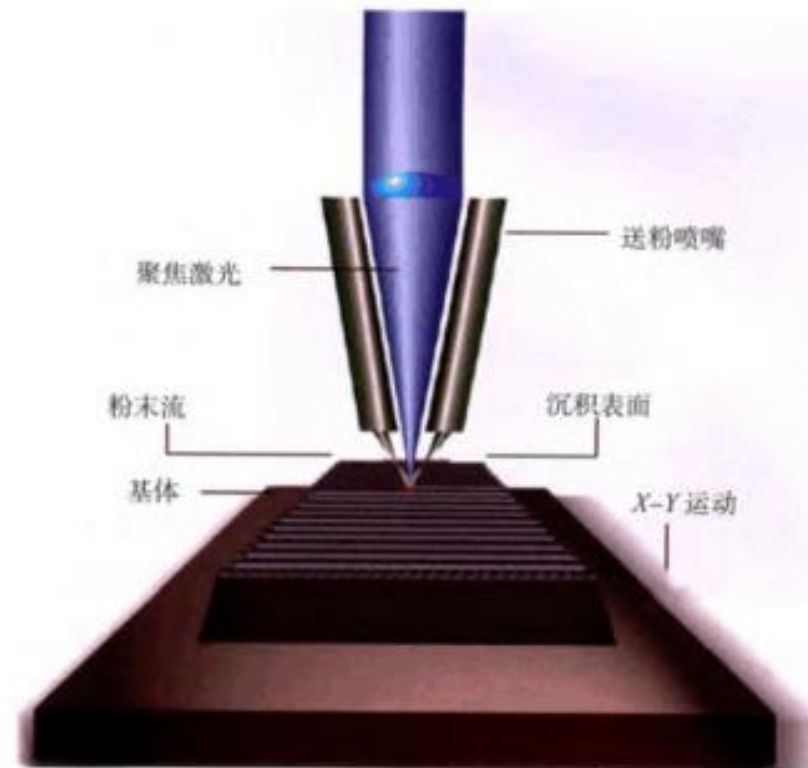
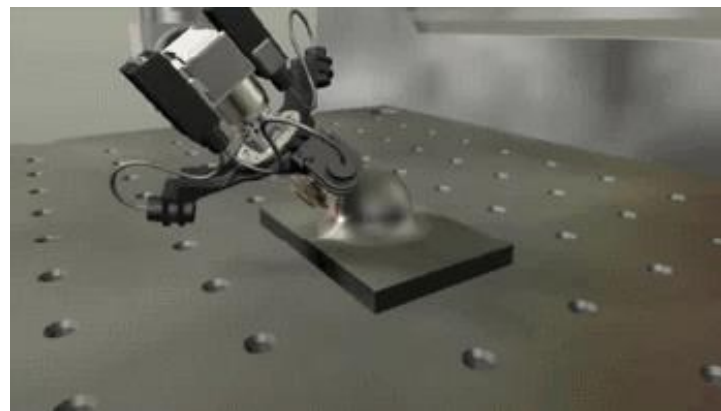
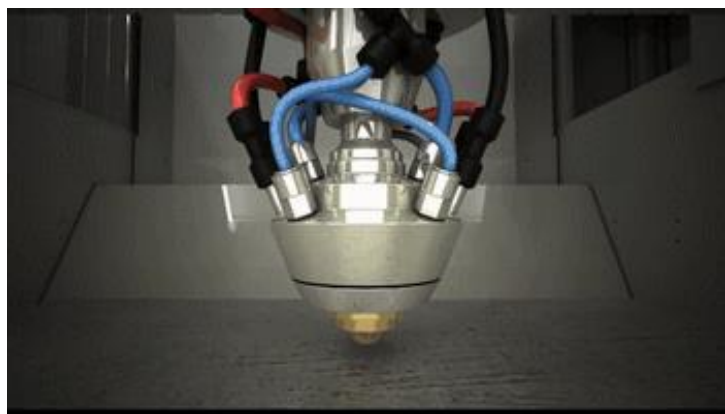


多个增材制造零部件已经实现批量化生产

## LENS——激光近净成形(Laser Engineered Net Shaping)

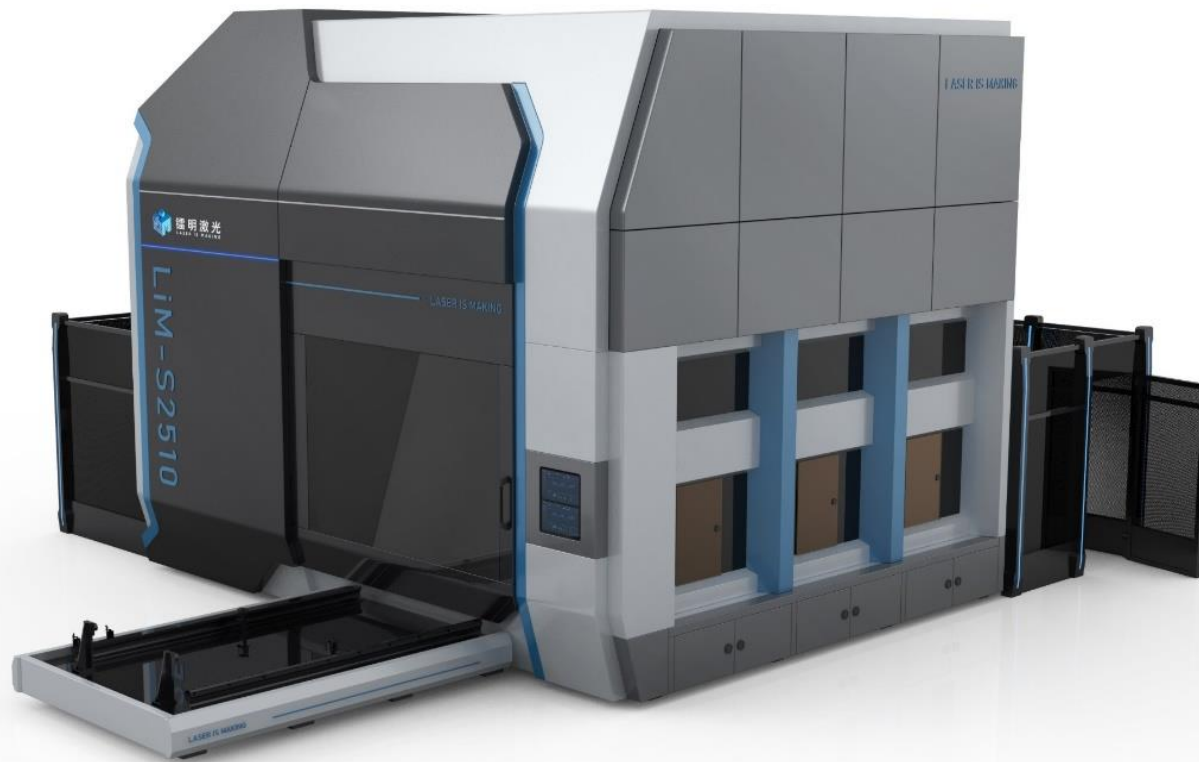
- ◆ LENS工艺基于激光熔覆技术，采用的激光功率比较大、光斑直径大、粉末沉积效率高，但是成形精度低。

主要用途：中大型构件成形、零件局部修复



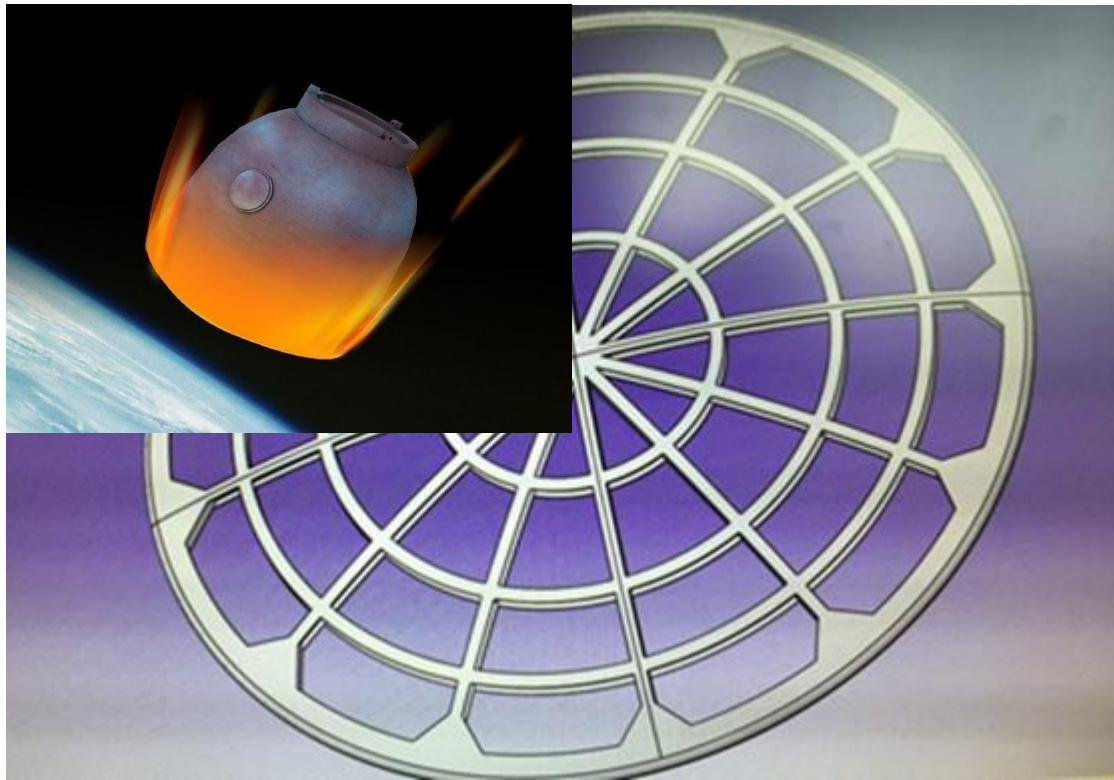


LiM-S0303/S1006  
悬臂式结构，成型尺寸  
300mm~800mm (XY方向)



LiM-S2510/4510  
龙门式架构，成型尺寸1.5m~4.5m (XY方向)，  
成型高度最大可达1.5m。

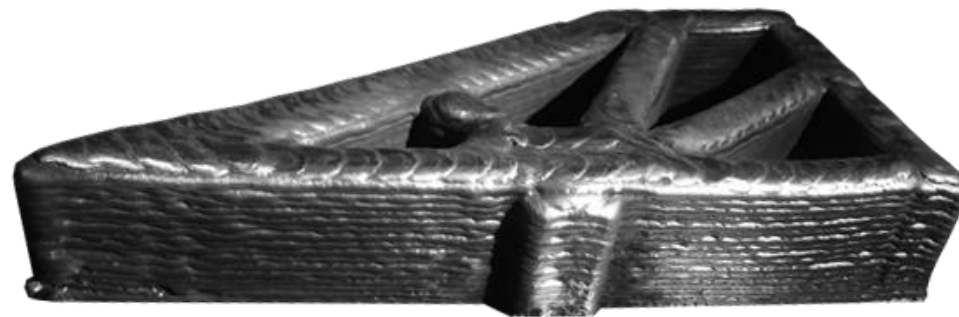
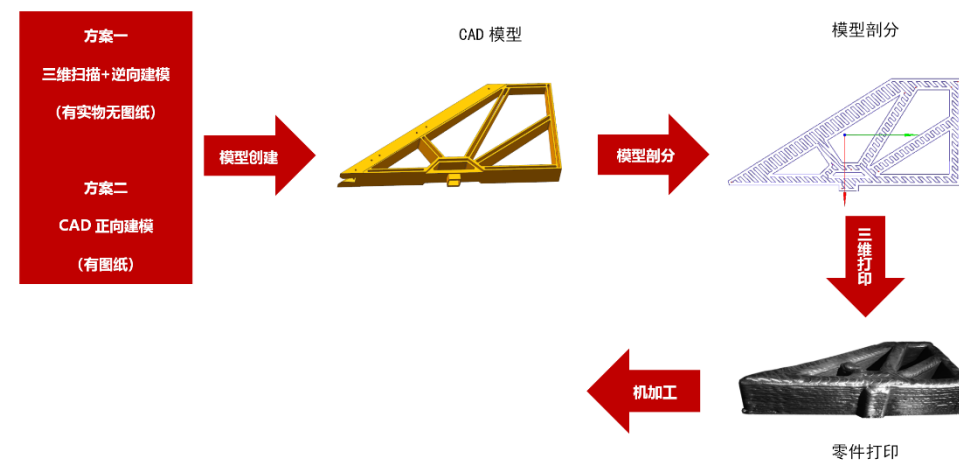
## 空间站返回舱防热大底



2020年5月8日13时49分，由中国航天科技集团空间技术研究院抓总研制的我国新一代载人飞船试验船的返回舱，在东风着陆场预定区域成功着陆！其中重要的技术突破之一，是由航天五院总体部设计的返回舱防热大底框架结构，全部采用金属3D打印工艺制造，成功实现了减轻重量、缩短周期、降低成本等目标。也标志着，大型关键结构件整体3D打印技术通过大考。

## WAAM——电弧增材制造(Wire and Arc Additive Manufacturing)

- ◆ **WAAM**技术采用电子束或电弧等作为热源，将金属丝材加热熔化，连续堆积形成沉积层，最终形成“近形”制件。沉积层厚度为毫米量级。
- ◆ 主要用途：大型构件毛坯直接制造、大面积修复
- ◆ 设备尺寸：根据需求定制



# PART 02

## 增材制造中的质量与效率问题 Quality and Efficiency Issues in AM

# 我们关注的故事.....

Application: LEAP fuel nozzle\*  
应用: LEAP 发动机燃油喷嘴



百家号/3D打印网



增材制造的价值体现在  
最终的产品中

# 我们关注的故事.....



空客A350 XWB量产型发动机短舱钛合金支架，2017年发布。

# 故事的背后.....

某民用机型金属3D打印部件适航  
取证需要参考的规范.....

|              |                         |
|--------------|-------------------------|
| CCAR-25-R4   | 中国民用航空规章 第25部—运输类飞机适航标准 |
| GB/T 228.1   | 金属材料 室温拉伸试验方法           |
| GBT/ 1184    | 形状和位置未注公差值              |
| GB/T 3620.1  | 钛及钛合金牌号和化学成分            |
| GB/T 4698    | 海绵钛、钛及钛合金化学分析方法         |
| HB 5354      | 热处理工艺质量控制               |
| HB/Z 20452   | 航空钛合金零件激光直接沉积增材制造 基材规范  |
| AMMS1104     | ****飞机Ti-6Al-4V粉末规范     |
| **CH0003-2   | **公司国内外生产用工艺材料 (XPM) 索引 |
| *CPS16075    | 钛合金的机械加工                |
| *CPS22006    | 干法吹砂                    |
| *CPS22011    | 生产过程中的炉(槽)温控制           |
| *CPS23038    | 有机溶剂除                   |
| *CPS28001    | 渗透检验                    |
| *CPS28005    | 射线检验                    |
| Y21-CP0206-1 | ****飞机工艺合格审定计划 (CP)     |

# 质量是关键问题

- ◆ 增材制造是一种工艺技术，其根本价值在于制造出高质量的产品！
- ◆ 当前针对制造效率和成本的创新值得关注，但创新不应脱离产品质量！

## QUALITY ASSURANCE & QUALITY CONTROL



# 增材制造产品的质量目标

## 功能件

### 控性

采用标准材料或改性材料，  
满足力学、导电或导热等功能指标。

## 结构件

通过材料设计和工艺设计，  
使产品达到或满足基本静态、  
动态和疲劳性能要求。

### 控形

获得产品所需的形状与尺寸！

获得产品所需的形状与尺寸！

# 效率问题——流程控制

## 增材制造应用流程 (以SLM工艺为例)



**增材制造的复杂流程制约了其效率的进一步提升，需要在每个环节控制质量，并简化流程间转换的过程。**

# 质量和效率的影响因素

- 设备的设计与制造
- 控制系统及软件开发/测试
- 设备供应链管理
- 材料改性与制粉工艺控制
- 材料检验
- 材料工艺参数开发
- 产品/工艺设计
- 后处理操作



- 激光功率
- 成型尺寸
- 铺粉/送粉质量
- 氧含量控制
- 除尘过滤
- 一致性与可靠性

- 粒径分布
- 球形度
- 氧含量
- 化学成分
- 一致性

- 产品设计/工艺设计
- 后处理过程标准化

**超过100种因素共同决定了增材制造的产品质量和制造效率!**



# PART 03

## 智能化的价值 Value of Intelligence

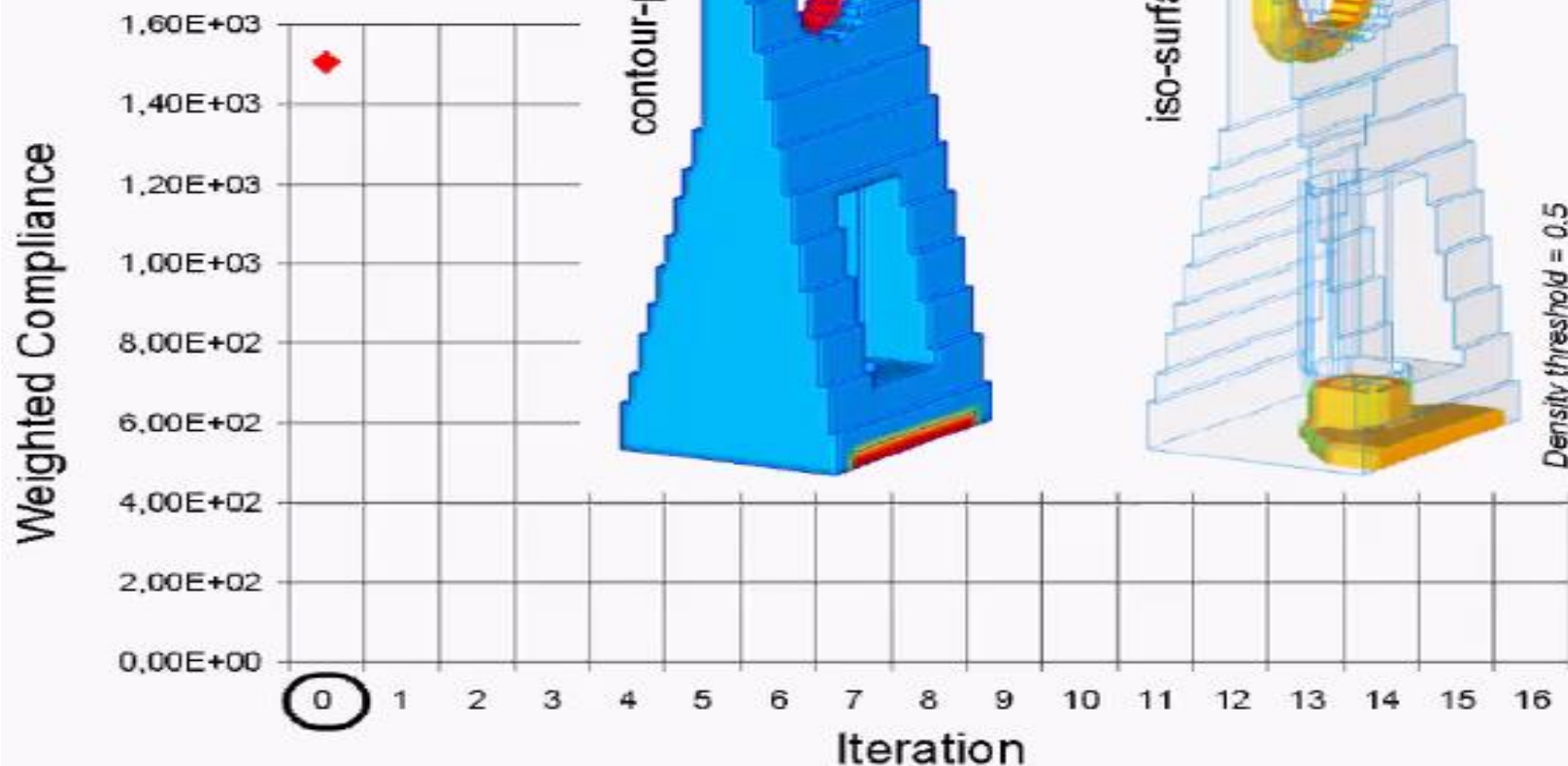
# 各阶段的智能化应用

## 增材制造应用流程 (以SLM工艺为例)



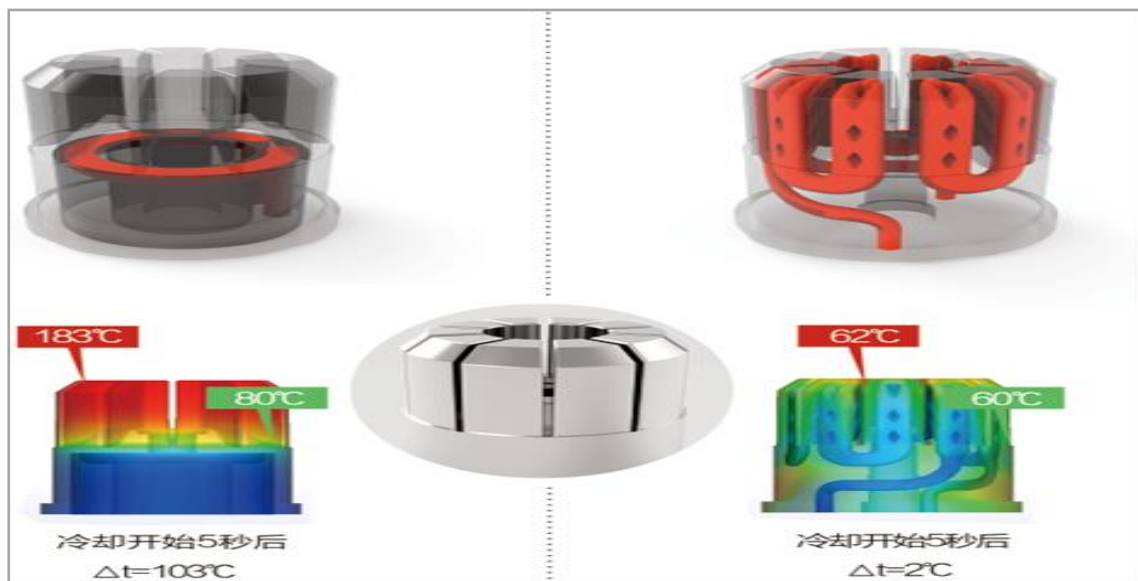
# 智能化结构设计

Min. Weighted-Compliance  
mit vorgegebener Volumen-  
obergrenze (30%)



通过创成式设计，智能化寻找最佳的材料路径，最大化利用材料并满足性能要求！设计中可以考虑增材制造的工艺约束。

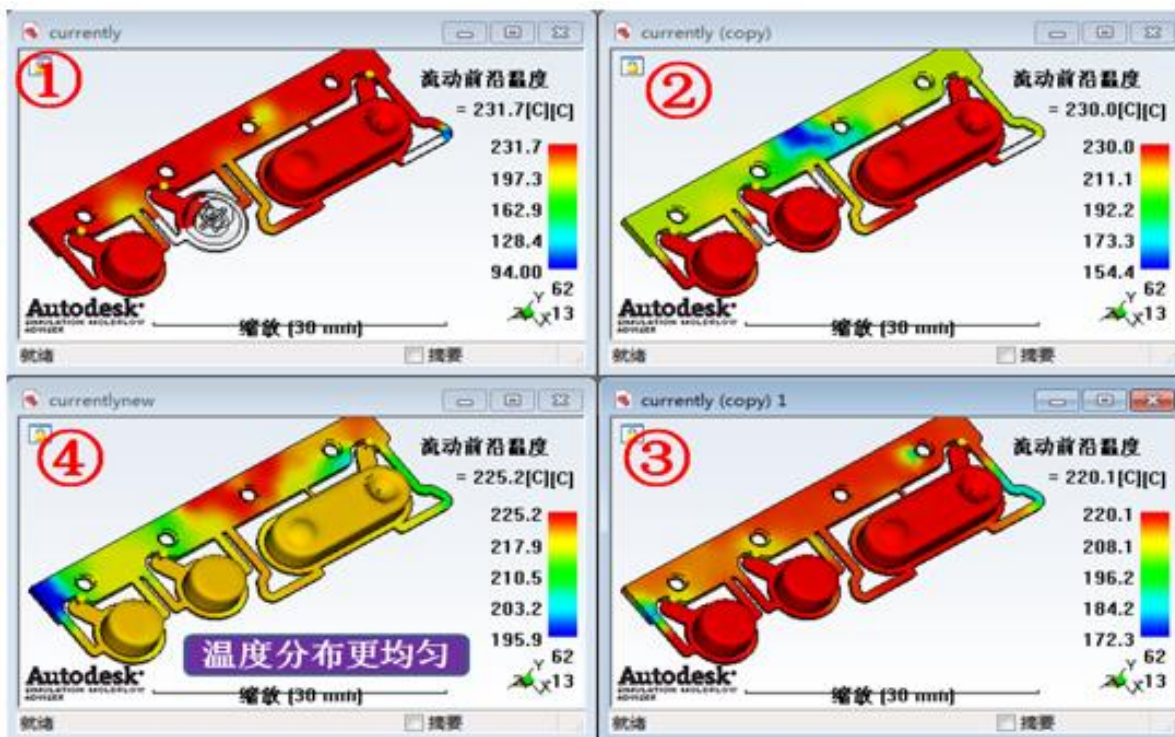
# 智能化模具设计



通过模具设计和注塑工艺优化，避免产品制造缺陷，并判断增材制造工艺的经济性与可行性！

可优化的变量：

流道路径、流道截面形状及尺寸、浇口位置、加热温度、螺杆推进速度等。



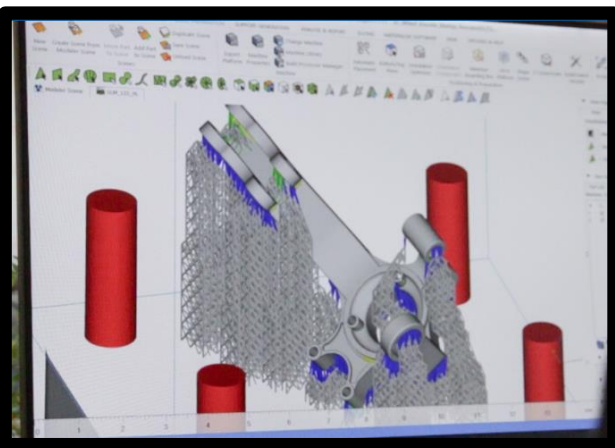
# 智能化工艺设计——自动支撑

# 智能化工艺设计——自动支撑



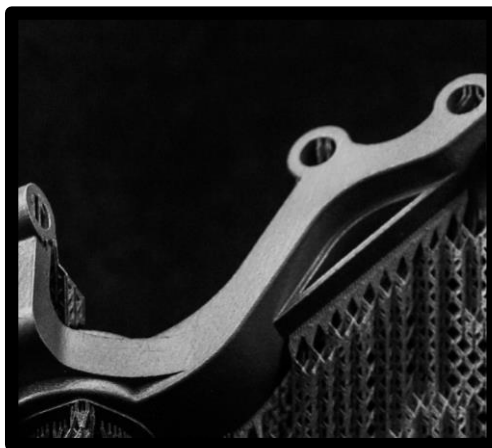
## 节省数据准备时间

通过自动可节省高达90%的支撑设计时间。



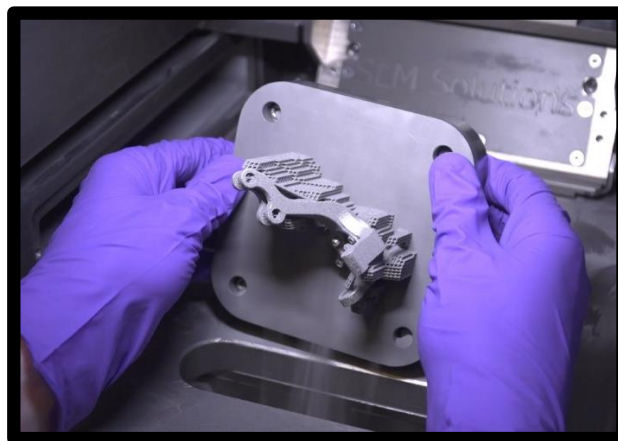
## 降低失败风险

避免了人工错误。在每个需要支撑的表面都生成相应的支撑。



## 减少粉末消耗

支撑的开放结构，使粉末回收率提升高达20%。



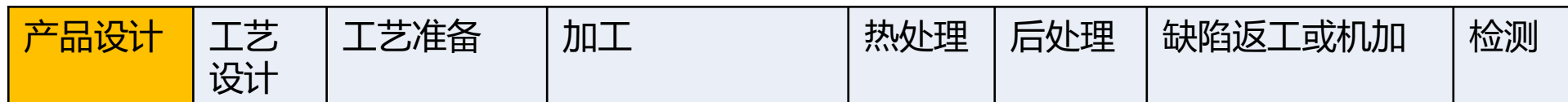
## 节省后处理时间

支撑结构只在需要的地方生成，最大化降低后处理工作，时间缩短20%。

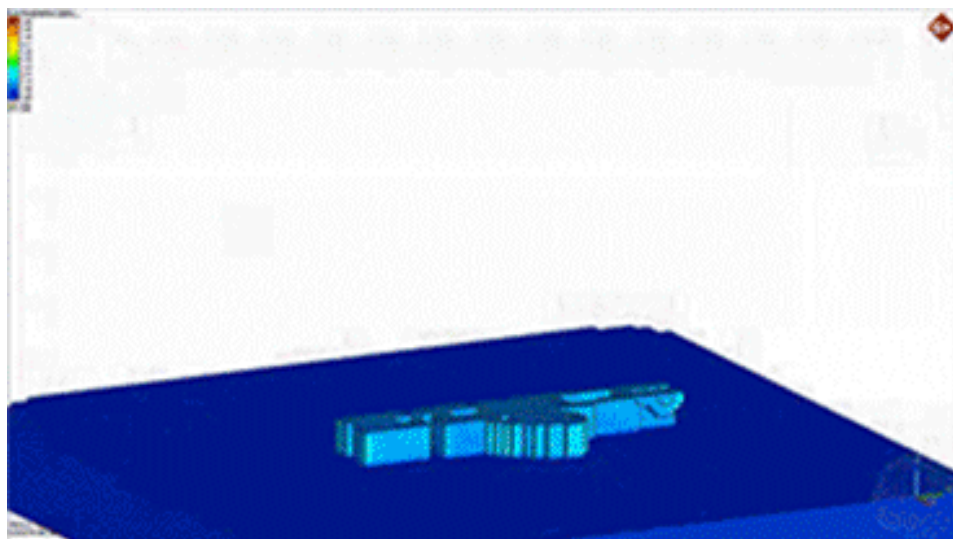
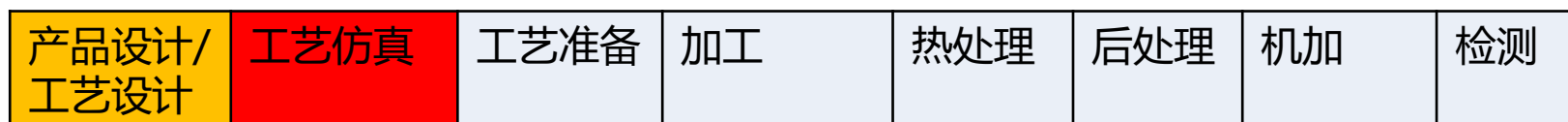


# 智能化工艺设计——过程仿真

现有模式：



流程优化：



质量与效率提升  
创造的价值



## 预测变形

观察和评估工艺方案对变形和残余应力的影响，优化部件摆放和支撑策略。查看初始形状和最终变形形状（移除支撑前和移除支撑后）之间的差异。



## 预测残余应力

提前了解打印过程中的应力积累。  
预测应力趋势、最终残余应力和打印过程中的最大应力位置。  
通过彩色云图查看高应变区域和潜在的刮刀碰撞位置。



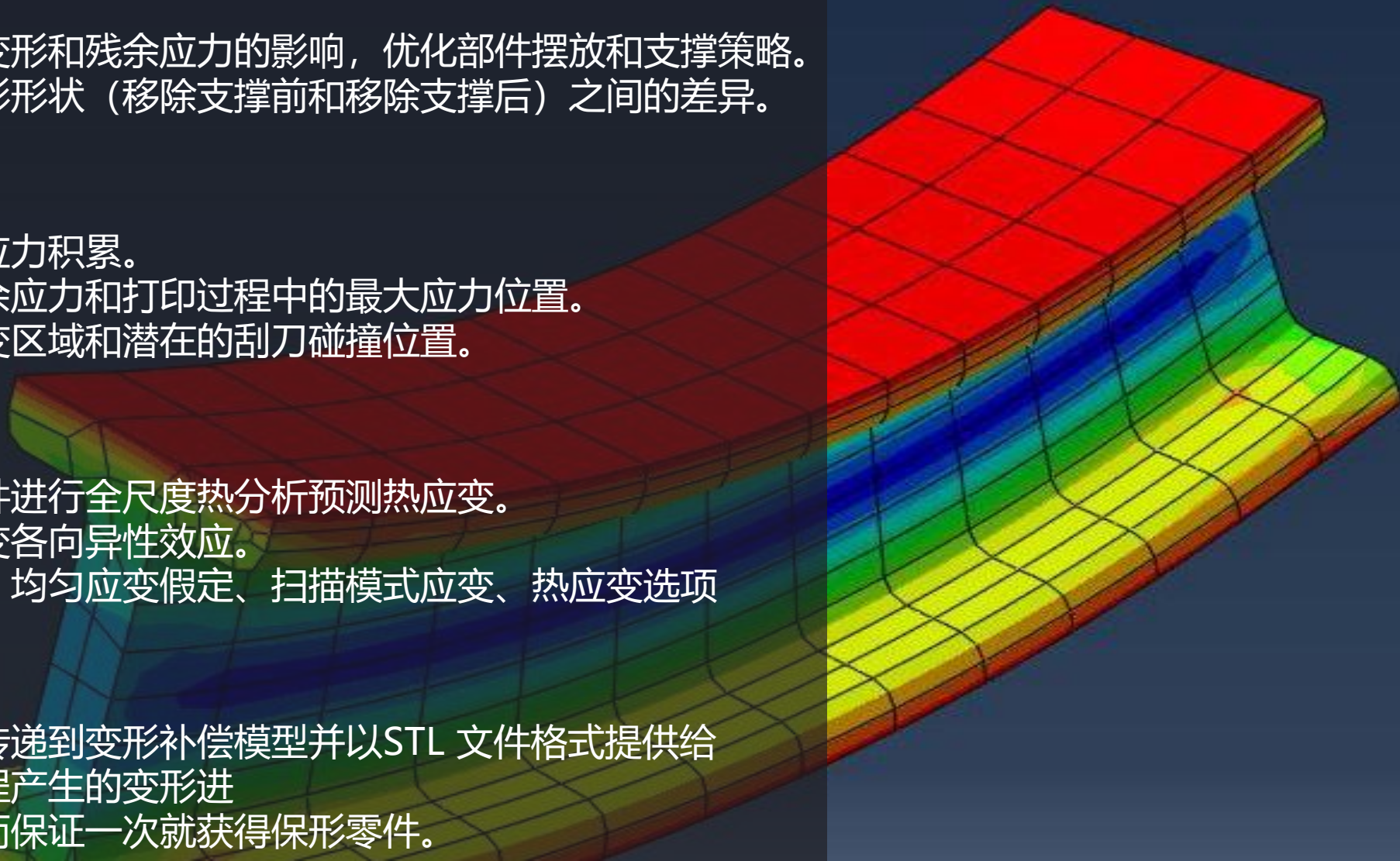
## 预测热应变

依据扫描矢量，基于零件进行全尺度热分析预测热应变。  
基于扫描方向预测热应变各向异性效应。  
提供三种应变计算算法：均匀应变假定、扫描模式应变、热应变选项



## 自动变形补偿

部件变形预测结果自动传递到变形补偿模型并以STL 文件格式提供给您，该文件基于打印过程产生的变形进行预先的变形补偿，从而保证一次就获得保形零件。



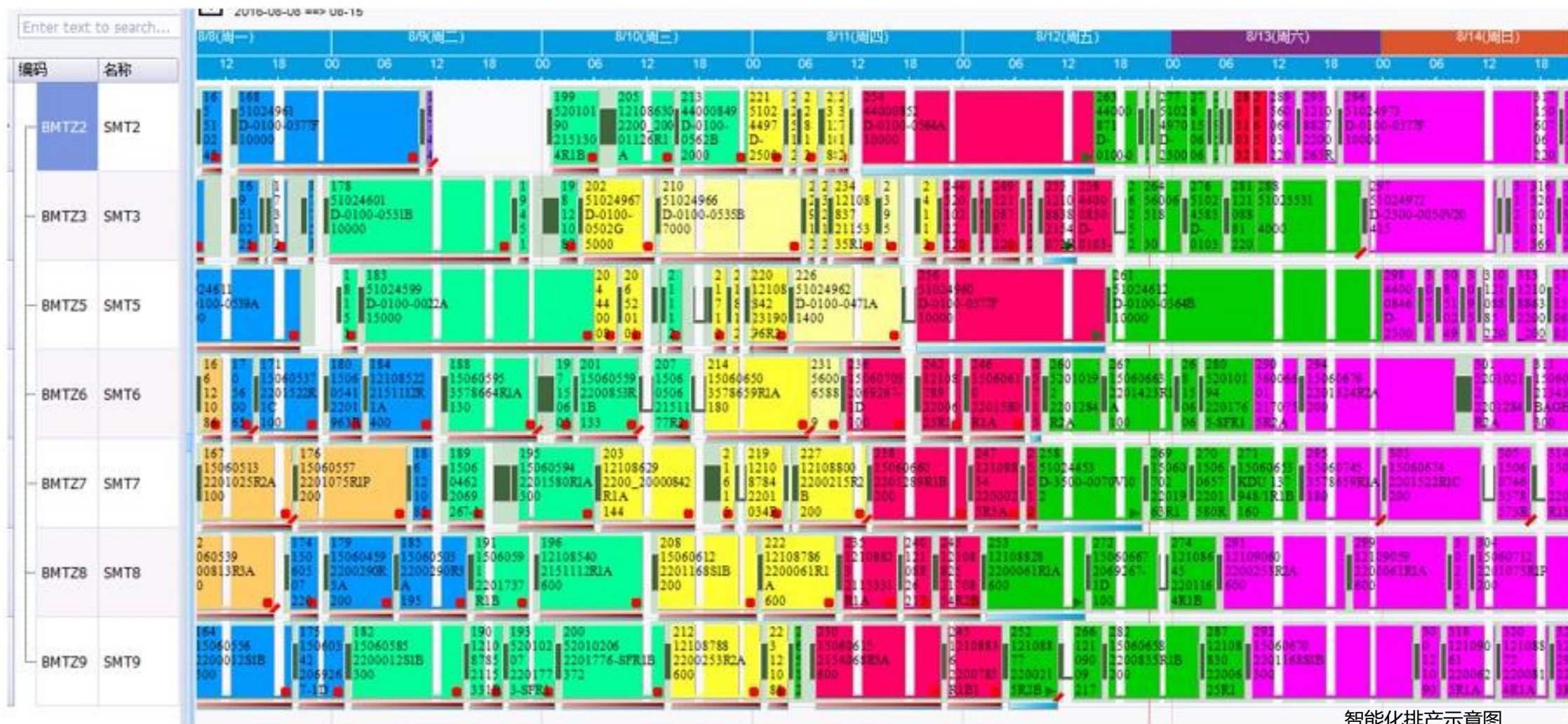
## 过程仿真案例

某过滤器在增材成形过程中，网状结构与顶端连接的部位出现凸起变形，由于该薄壁结构成形后无法进行其他的机械加工来保证构件的几何精度，因此成形后构件不能满足设计要求。

采用增材工艺仿真分析，准确获得了该过滤器在打印过程中的变形，之后，基于变形补偿对模型进行了反变形设计，仿真迭代确定合理的补偿因子，输出补偿模型，最终得到满足精度要求的成形构件。



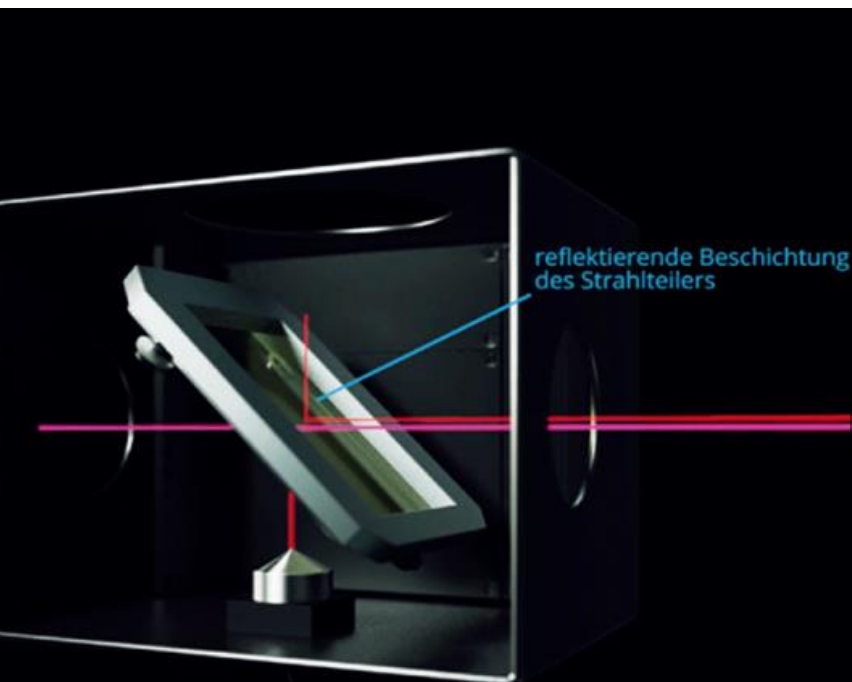
# 智能化生产准备——智能调度



### 智能化排产示意图

智能化排产的前提条件：尽可能准确的销售预测、及时的订单输入、准确的加工时间预测、低返工率。

# 智能化质量过程监控



在金属增材制造过程中，激光功率、扫描速度、风场结构、光束质量、铺粉质量、氧含量等参数都会影响最终打印件的质量。

对这些关键参数的记录和保存并不是最终目的。实时监控、实时反馈、实时调整才是。

激光功率和熔池监控等监控软件方案因此应运而生。



# 智能化质量过程监控



## 铺粉质量监控

监控铺粉均匀性，在铺粉质量不佳情况下，实现自动铺粉或自动停止加工。



## 氧含量监控

氧含量为金属增材过程的一项重要监控指标。



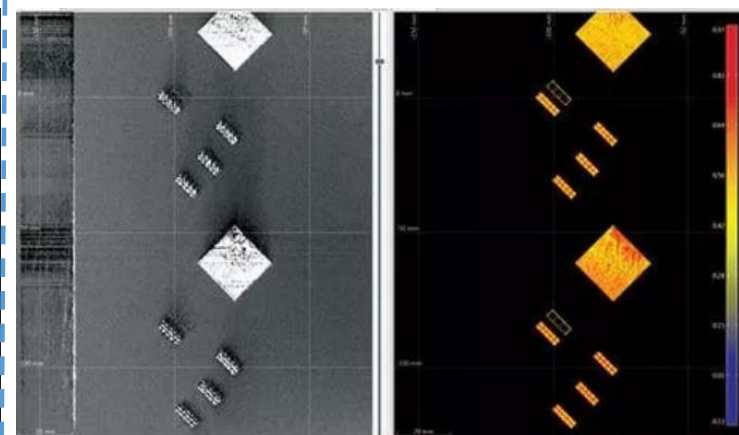
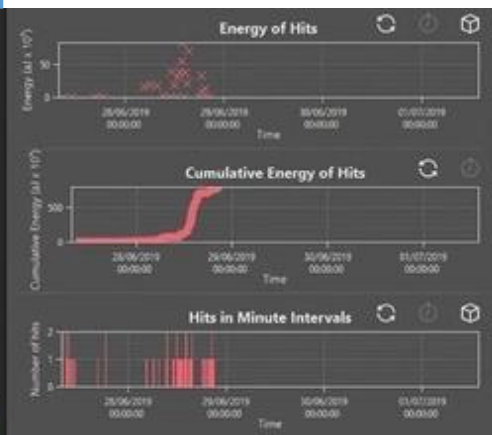
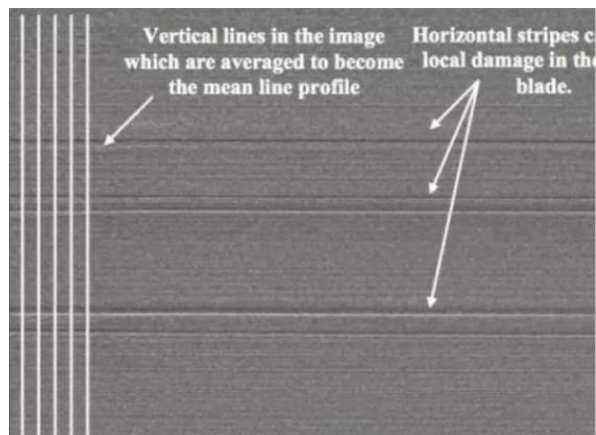
## 激光功率监控

功率的稳定性直接决定了成形零件微观组织的均匀性、一致性。



## 熔池监控

熔池监控模块测量熔化过程的热量排放，控制材料的扫描过程和熔化特性，识别缺陷类型。



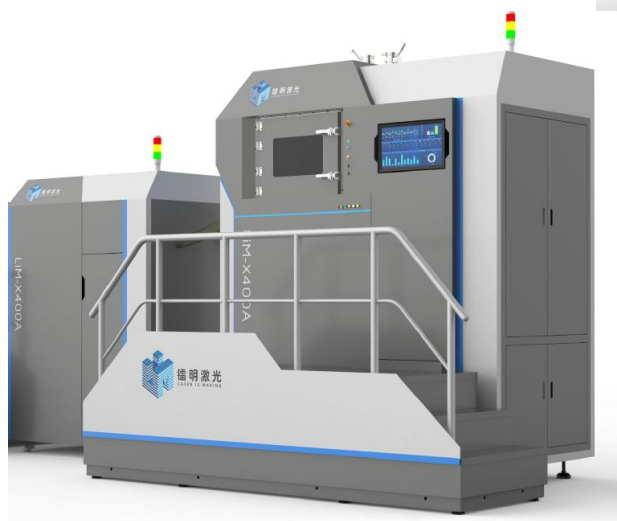
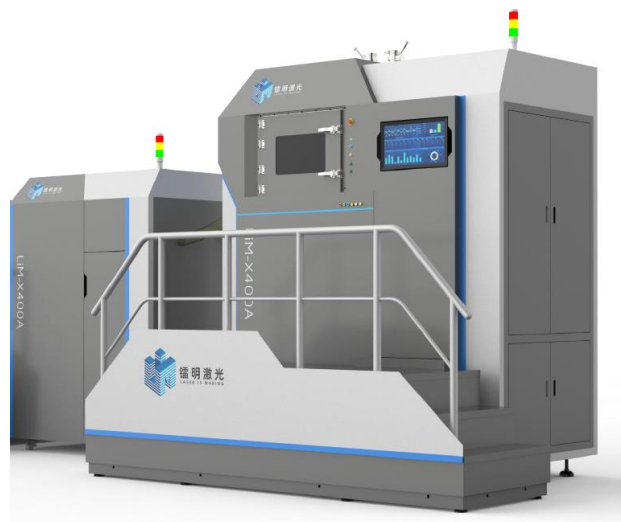
# 智能化后处理——零点定位



零点定位系统确保增材制造加工过程中，从成形、清粉、热处理、线切割到机加工的中间步骤中，能够确保基准位置的精度。减少人工定位的时间浪费和可能错误。

然而，针对增材制造的量产部件，需要定制“零点定位系统”。而针对单件系统，充分利用前处理软件的嫁接功能将更为直接。

# 智能化后处理——自动化



利用设备间通讯、AGV叉车和自动清粉站，实现多台设备间成形缸自动替换和粉末回收清理，降低人工劳动强度，提升设备利用效率。

# 智能化质量数据分析



基础结构数据能给我们很多极限结构单元的成形能力信息，指导我们的设计。但这还远远不够，在实际应用环节，零件的复杂度、大截面应力的控制、设备的特性、工艺的变化都会对打印的成败有影响。



因此具体成形案例的大量积累，才是工艺人员进步提高的阶梯。软件的终极集成亦依赖案例积累由量变到质变的那一天。

一 样品说明

二 基本信息统计

三 方案设计思路

四 成形过程及结果

五 问题分析及优化方向

# 质量数据来源——仿真与试验

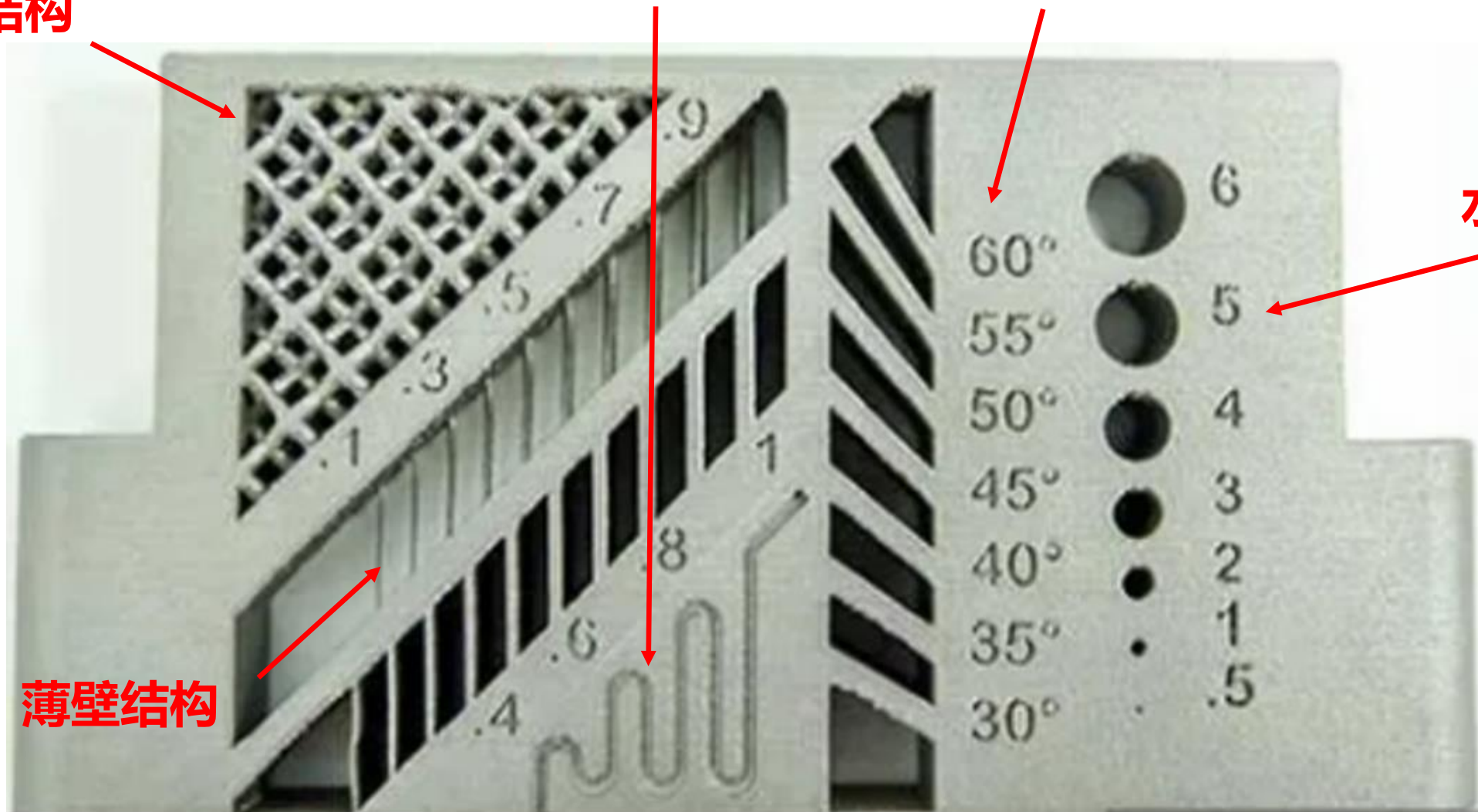
点阵结构

随形流道

极限角度

水平孔洞

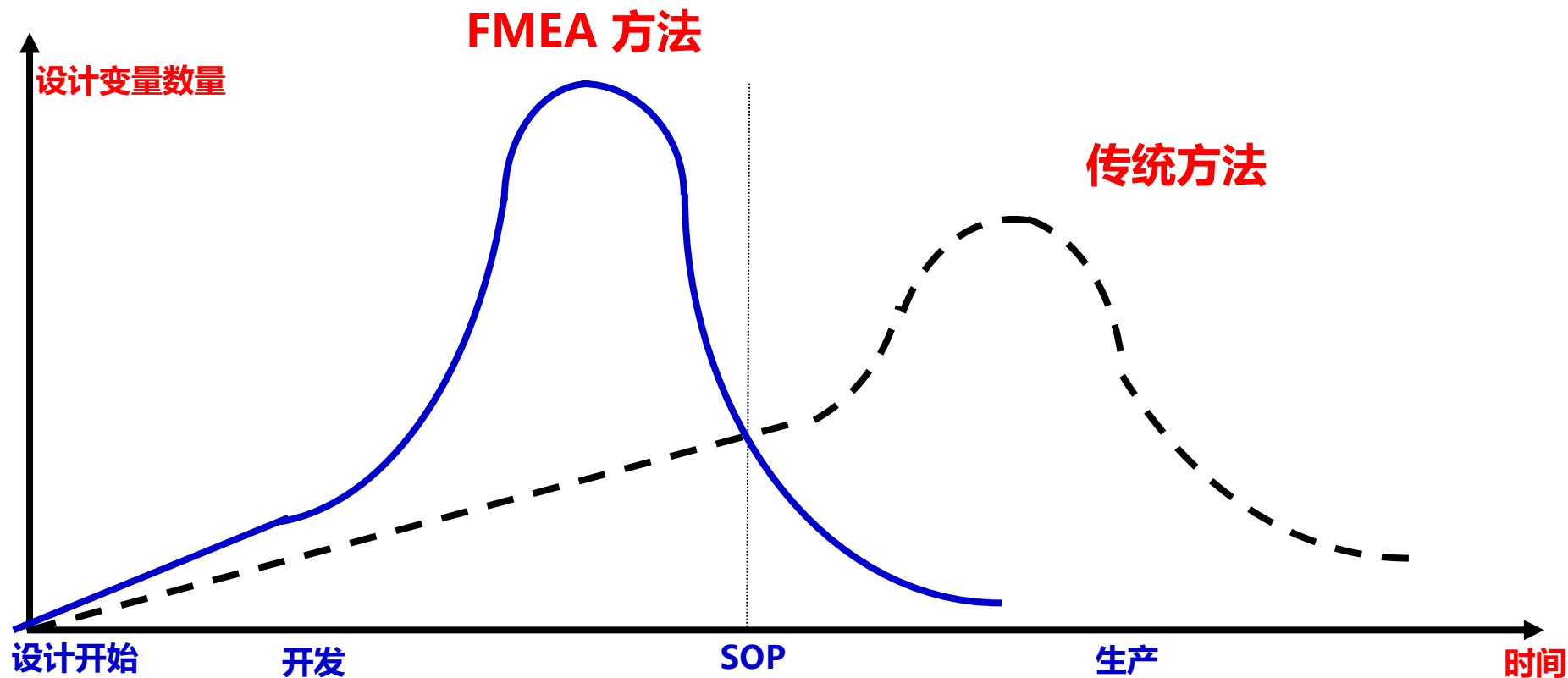
薄壁结构



# 质量数据目标——FMEA

失效模式及后果分析(Potential Failure Mode and Effects Analysis,简称FMEA)。

FMEA工具是在产品设计、制造、维护和使用过程的策划阶段,对各个环节逐一进行分析,找出潜在的失效模式,分析其可能的后果,评估其风险,从而预先采取措施,降低失效模式的严重程度,降低其可能发生的概率,以有效的提高质量与可靠性,确保顾客满意的**系统化活动**。



# 小结

## 问题：

增材制造已经从原型件制作进入批量生产阶段，质量一致性和效率成为关注重点。

## 解决方案：

在增材制造的各个环节充分利用智能化技术。

## 目标：

**以更高效率更低成本制造高质量的增材制造产品！**

# 谢谢!

精 益品质

合 为创新

叶洎沅

联系方式: 13918355417(可加微信)

邮箱: Jiyuan.ye@tsc-bj.com

