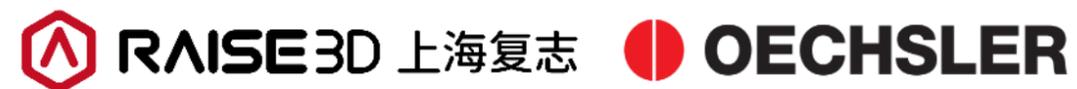




白皮书赞助方：
Sponsors:



3D打印塑料白皮书2.0

White Paper of Plastic 3D Printing 2.0



白皮书下载请加入3D科学谷 QQ群:106477771

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

Version ID: 20210430



三维科学·无限可能

“为行业提供深具国际影响力的增材制造咨询及
媒体内容营销服务平台。”

3D科学谷

*Provide the industry AM consulting service and
content marketing service with international
influence.*

3D Science Valley



上游 塑料市场



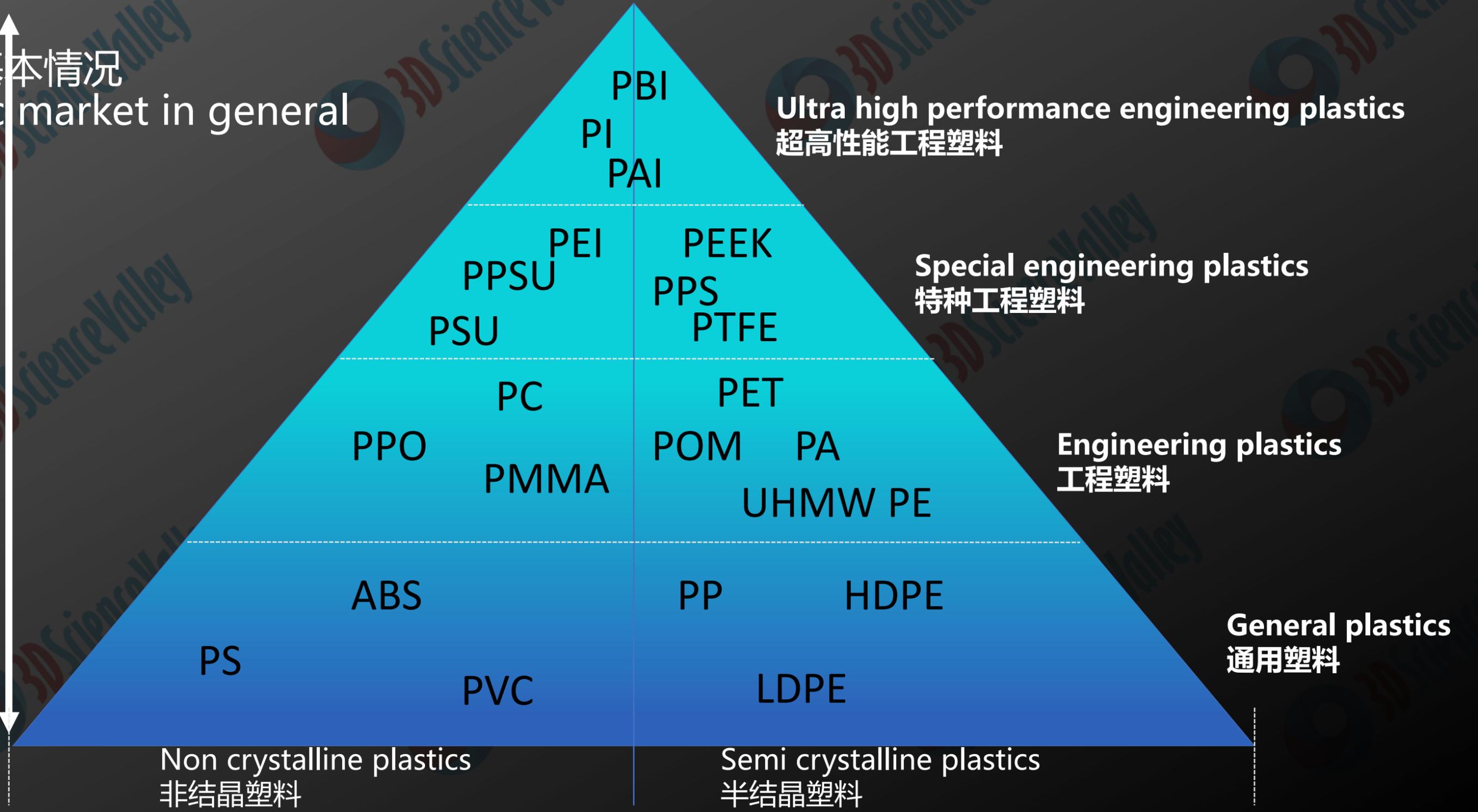
www.3dsciencevalley.com

1 塑料基本情况

塑料基本情况
Plastic market in general

性能

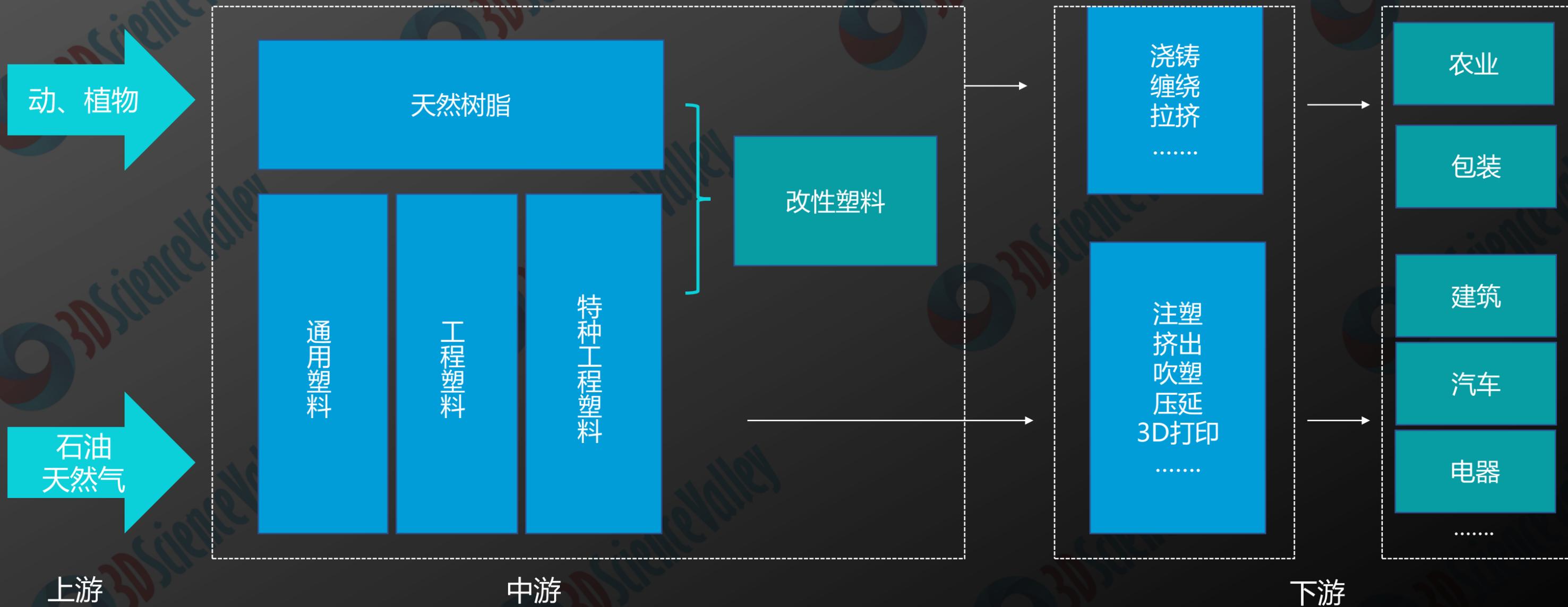
应用



Non crystalline plastics
非结晶塑料

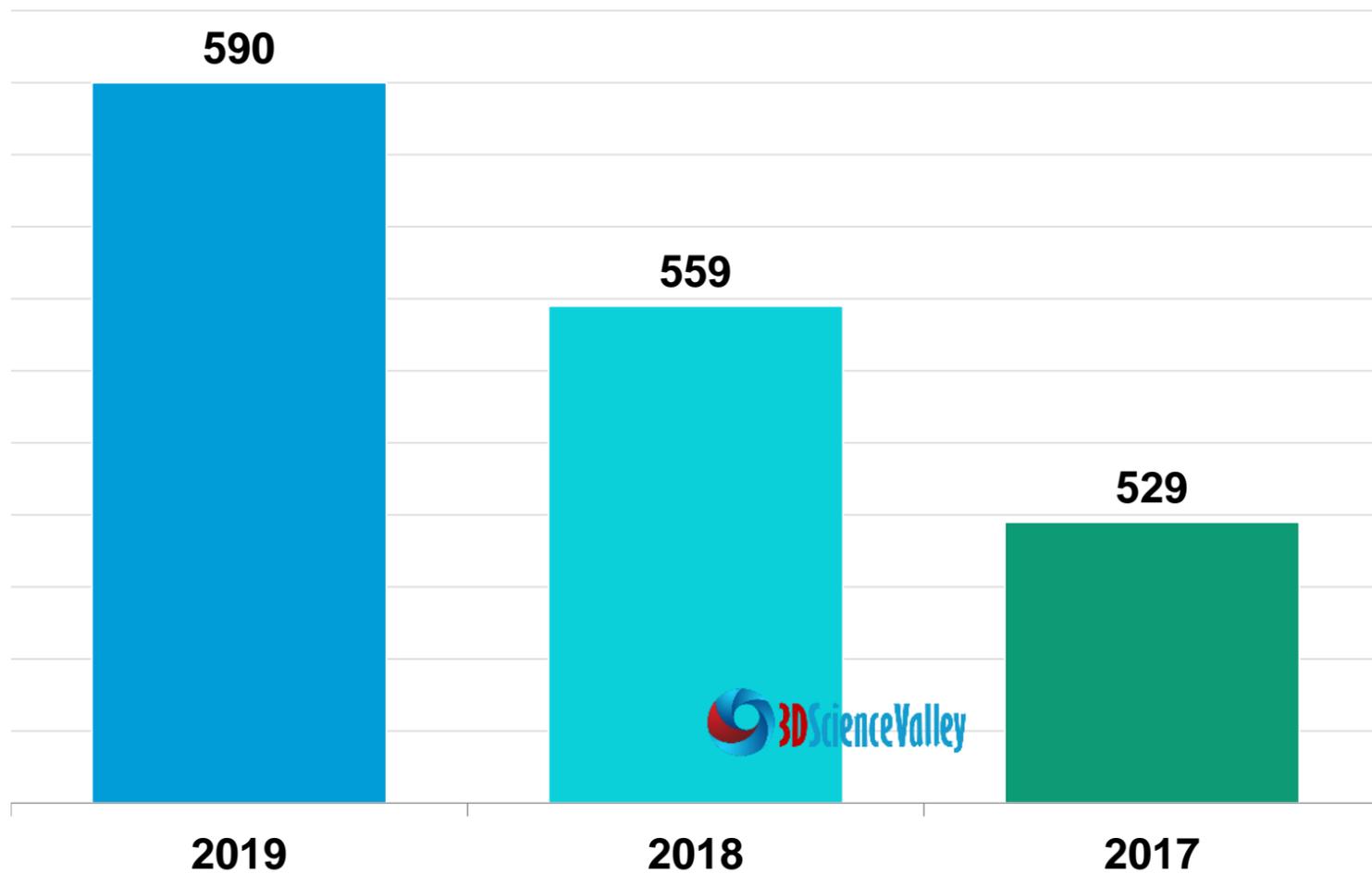
Semi crystalline plastics
半结晶塑料

2 塑料市场 | 工程塑料-产业链



3 塑料市场 | 工程塑料-市场需求

2017-2019年中国工程塑料行业需求量 (万吨)



数据：中国塑料工业协会

汽车工业、机械制造、电子、家电、建筑、化工的市场需求推动着塑料产业的发展。



图片-国产工程塑料制造的汽车、电子、电器零部件。

- 1. 金发科技;
- 2. 银禧科技;
- 3. 国恩股份

4 塑料市场 | 工程塑料-发展趋势



工程塑料替代金属趋势加深

图片:

1. 比亚迪推出一种电动汽车电机安装支架，材料为巴斯夫高性能材料 Ultramid® 聚酰胺，替代了金属材料。

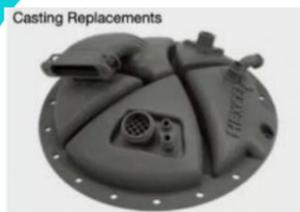
来源：巴斯夫



加快工程塑料“本土替代进口”

2. 国产改性PA 材料制造的汽车中冷器气室。

来源：金发科技



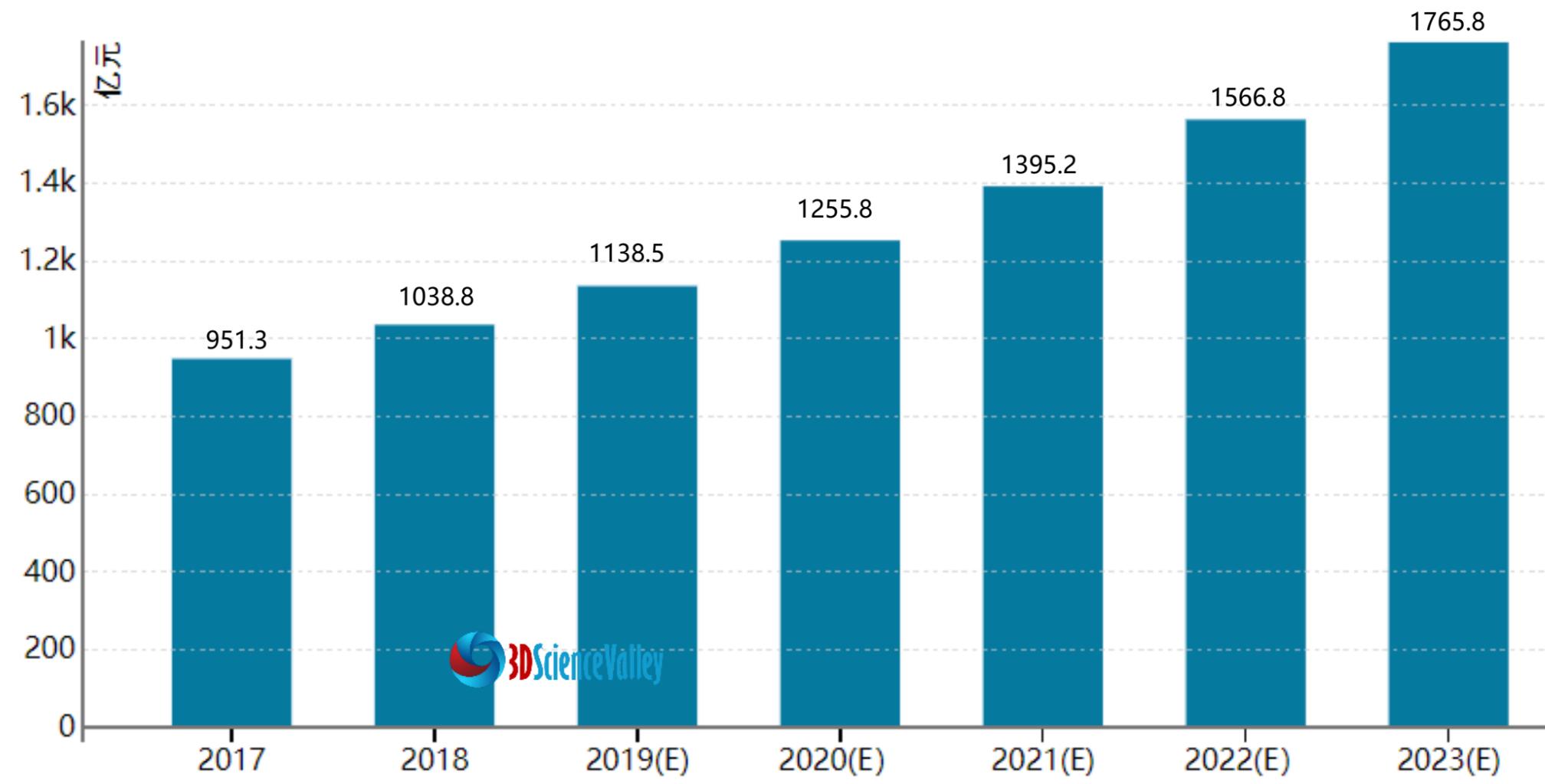
工程塑料产品高性能化

3.HexPEKK Hexel 2HexPEKK™材料与3D打印工艺 HexAM™制造的零件，可替代金属铸件。

来源：Hexcel 赫氏

如，高性能尼龙材料：阻燃尼龙、碳纤尼龙、增韧尼龙；
高性能PC 材料：高流动、超韧PC、玻纤增强PC...

2019-2023 中国工程塑料市场规模预测 (亿元)



数据: 头豹研究院

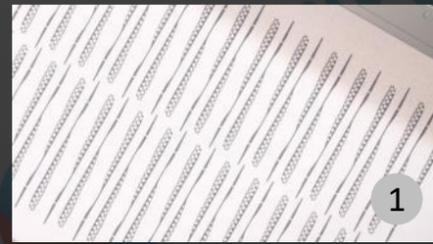
上游与中游 塑料3D打印材料与工艺



www.3dsciencevalley.com

6 3D打印与塑料制品

材料挤出、光聚合、粉末床 (SLS、HSS、MJF) 等3D打印工艺



塑料产品



材料挤出、材料喷射、光聚合等3D打印工艺

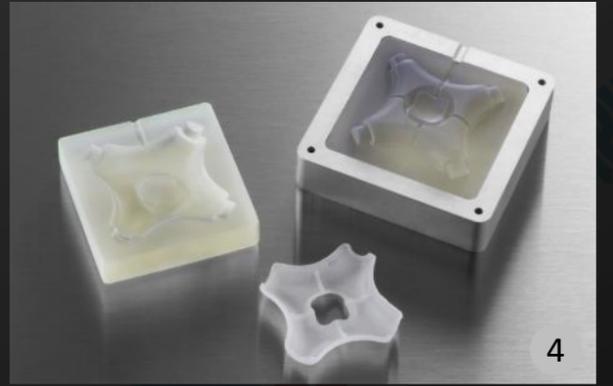


快速模具



小批量注塑

塑料样品



通过铸造工艺



粉末床激光熔化金属3D打印



通过机加工



金属模具



批量注塑

塑料产品



随形冷却模具

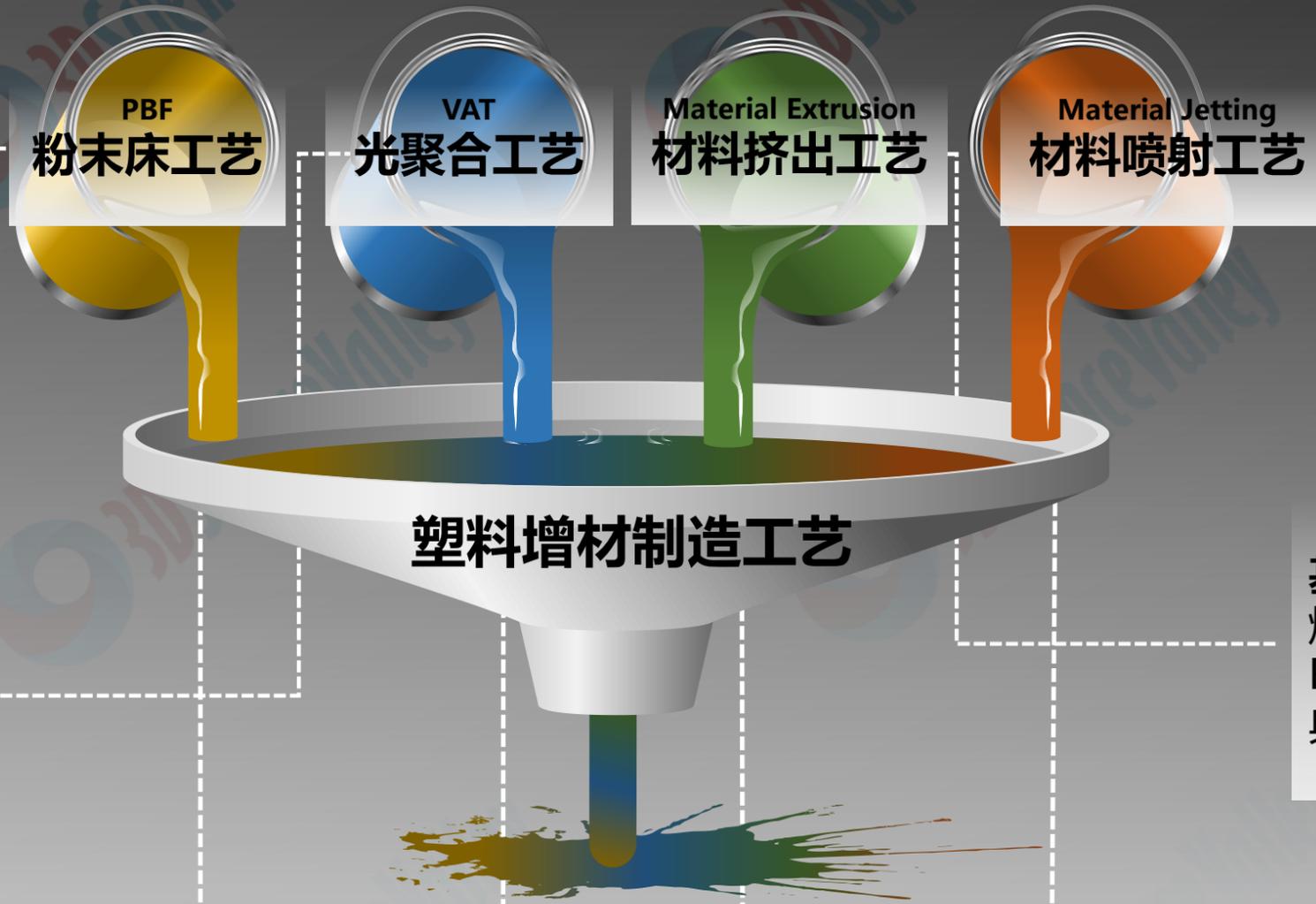


图片来源:
1. voxeljet-维捷 高速烧结工艺; 2. Stratasys; 3. Protolabs;
4. formlabs; 5. GF 加工方案6.深圳金旺田科技; 其他图片来自网络搜索。

7 塑料增材制造工艺

基于粉末床工艺的3D打印技术举例：
选区激光烧结-SLS；高速烧结-HSS；
多射流熔融-MJF.....
典型材料：聚合物粉末

基于光聚合工艺的3D打印技术举例：
光固化-SLA；数字光处理-DLP；
数字光合成-DLS.....
典型材料：光敏树脂



基于粉末床工艺的3D打印技术举例：
Polyjet；平滑曲率打印-SCP；
多喷造型-MJM.....
典型材料：光敏树脂、蜡

基于粉末床工艺的3D打印技术举例：
熔融沉积成型-FDM；电熔制丝-
FFF.....
典型材料：聚合物丝材



各工艺塑料3D打印零件举例：
1.来源：EOS；2.来源：裕克施乐-
Oechsler；3.来源：Raise3D 上海复志；
4.来源：Stratasys。

8 典型3D打印聚合物材料

典型聚合物粉末材料-用于粉末床工艺

PA-尼龙; TPU-热塑性聚氨酯; PP-聚丙烯;
PEEK/PEKK-聚醚醚酮/聚醚酮酮.....

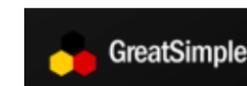
复合材料:

碳纤维增强PA ; 玻璃纤维增强PA; 铝填充PA
12; 碳纤维增强 PEKK ; 碳纤维增强PET



典型光敏树脂材料-用于光聚合与材料喷射工艺

类ABS光敏树脂;类PP光敏树脂;类TPU光敏树脂;
类TPE光敏树脂;类PC光敏树脂;类Silicone
光敏树脂



典型聚合物丝材、颗粒-用于材料挤出工艺

ABS;PLA;PA;TPU;PC;PAEK,PEEK,
PEKK;PVC;ULTEM (PEI)

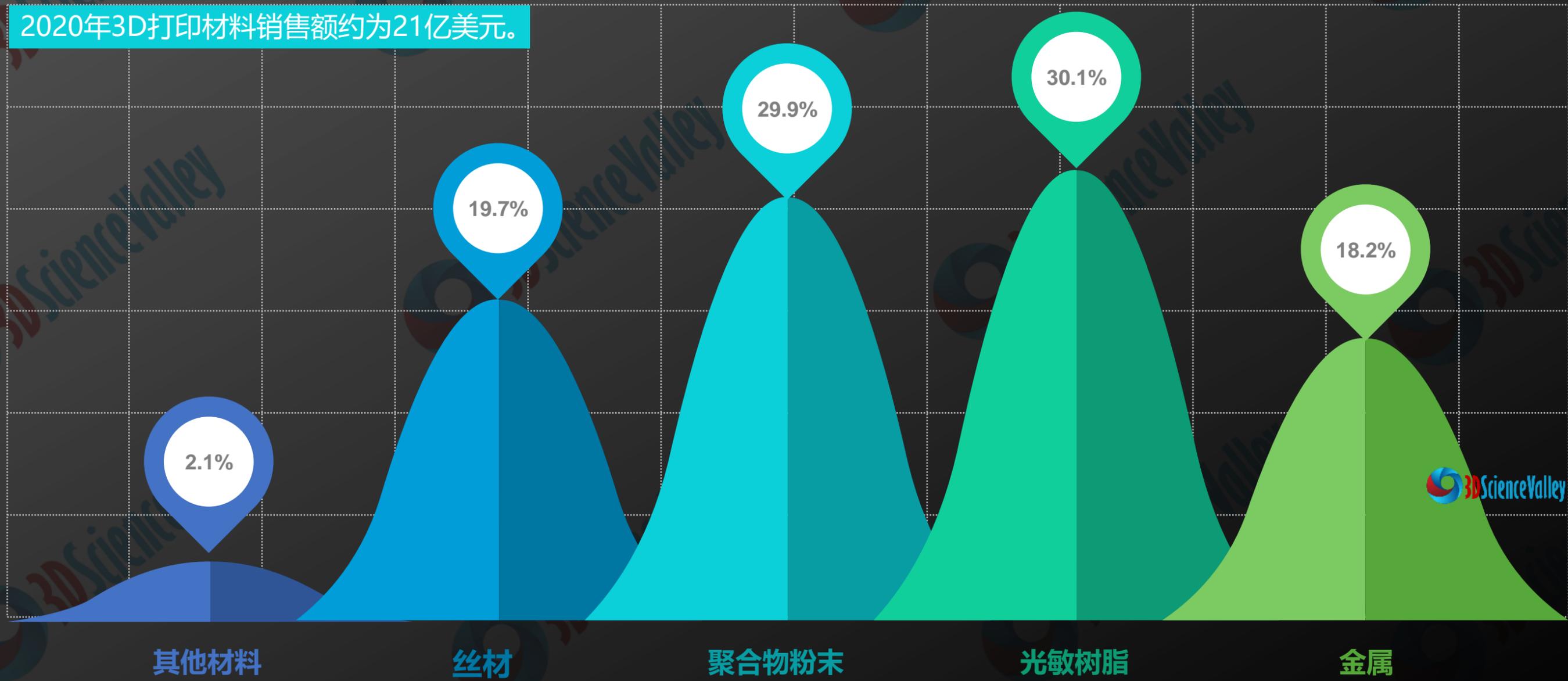
复合材料:

ABS Carbon; PEKK Carbon; PA Carbon;PET
Carbon; PEI Carbon PP Glass; PLA
Carbon.....



3D打印聚合物材料市场规模

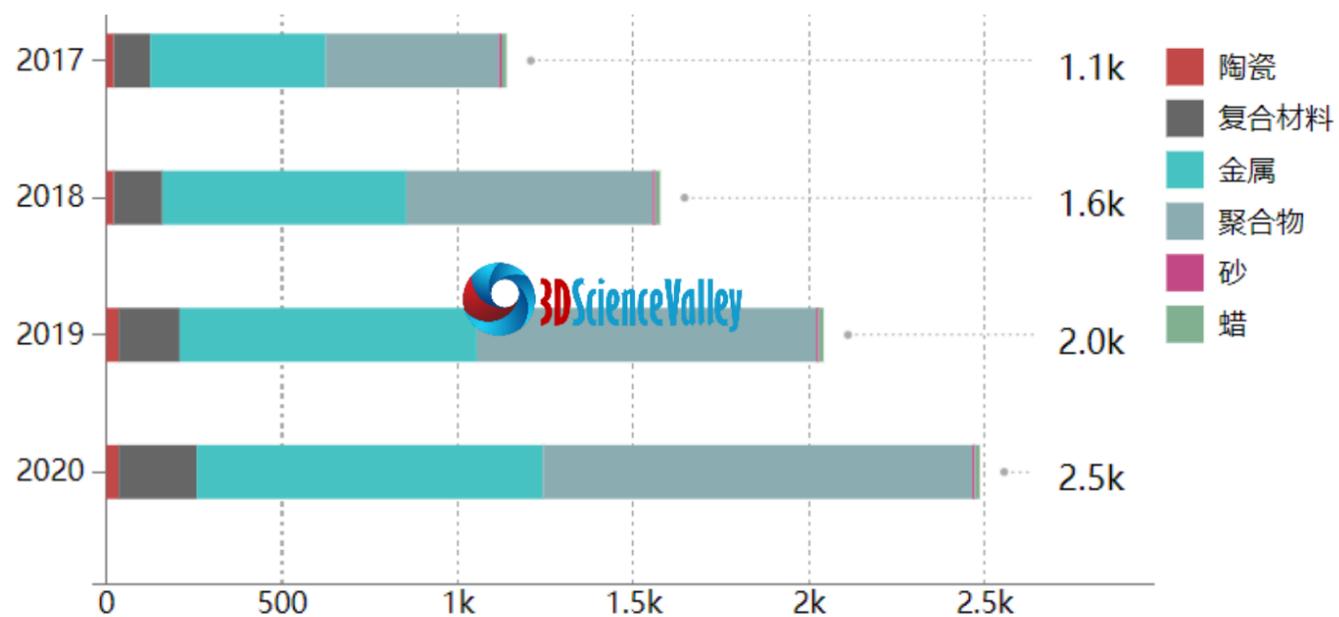
2020年3D打印材料销售额约为21亿美元。



数据: Wohlers Report

10 3D打印塑料材料产品发展概况

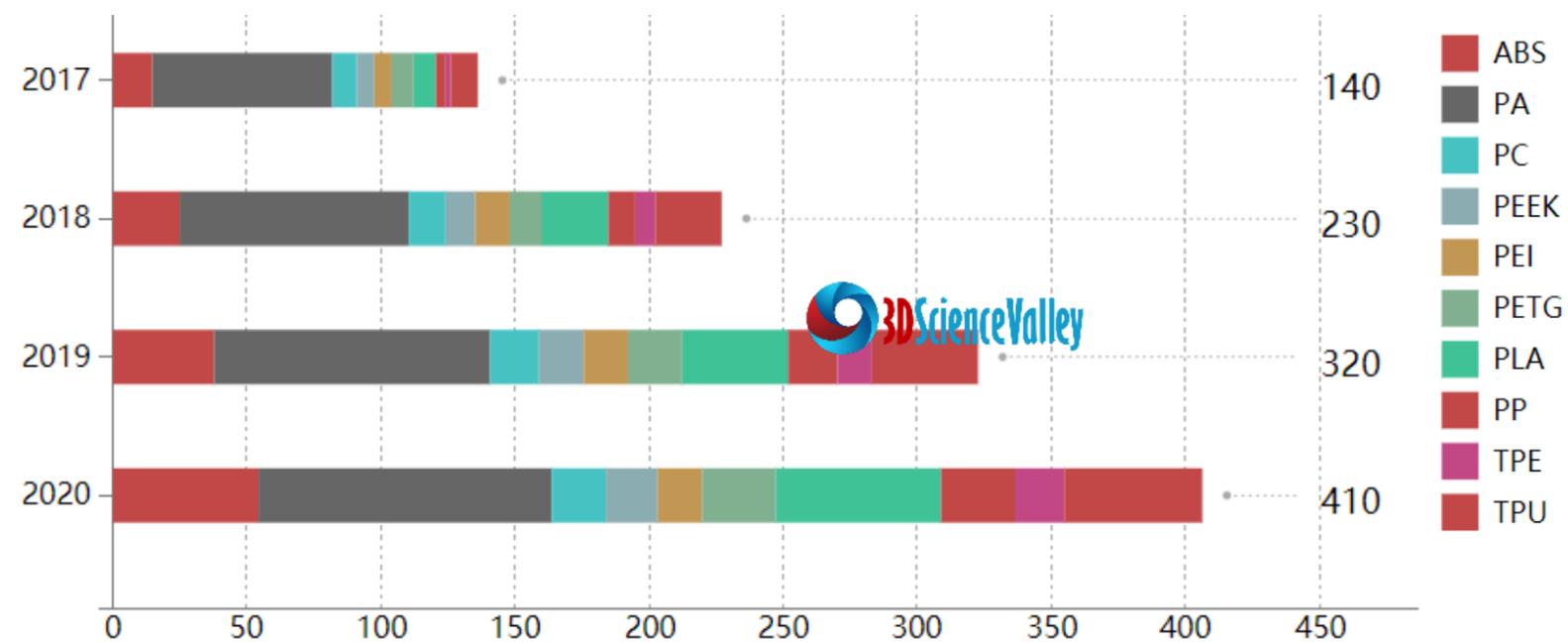
各类3D打印材料产品数量增长情况



数据: Senvol, Wohlers Reportl

2020年89%的商业化3D打印材料中，聚合物材料占49%，金属材料占40%，复合材料占8%，增长较为明显。2020年Senvol 数据库收录的聚合物3D打印材料数量达1222个，复合材料数量达219个。

热塑性3D打印材料产品数量增长情况



数据: Senvol, Wohlers Reportl

PA 尼龙材料占比27%，2020年Senvol 数据库收录的PA 3D打印材料有110个；ABS 和PLA 材料挤出3D打印工艺中最常用的材料；特种工程塑料PEI（主要材料供应商沙特基础的产品名称为ULTEM),市场上制造商数量很有限，不能真实反映应用增长情况；弹性材料TPE\TPU 2020年产品数量达到19个和51个。

11 3D打印与塑料制品 | ABS和PLA

PLA 材料

上游

NatureWorks
weforyou Group
Futerro
Total Corbion 道达尔科碧恩
浙江海正生物材料股份有限公司
吉林中粮生物材料有限公司
同杰良生物材料有限公司
eSun 易生 (深圳光华伟业)
.....

中游-材料挤出丝材

eSun 易生
Kexcelled 诺思贝瑞
Polymaker
BASF 巴斯夫
MatterHackers
Kimya
Plas3D
珠海三绿
.....

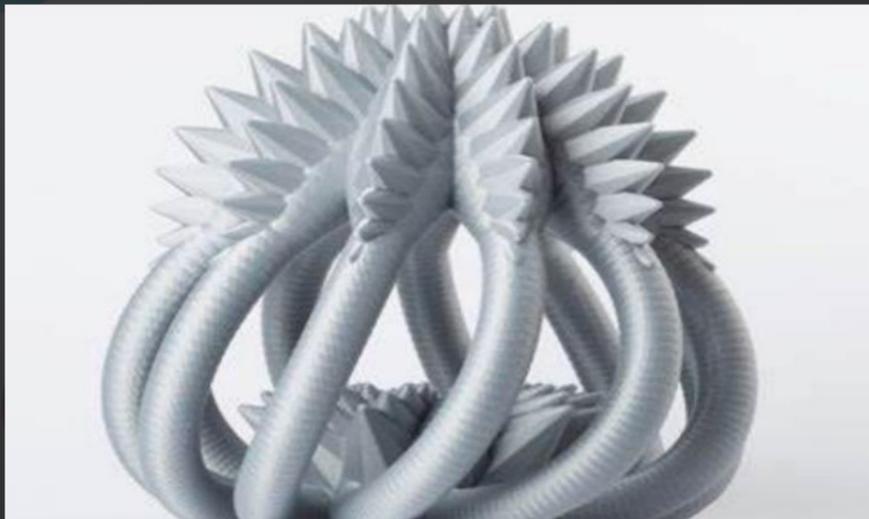
ABS 材料

上游

台湾奇美
Bayer-拜尔
LG化学
SABIC 沙特基础
BASF 巴斯夫
.....

中游-材料挤出丝材

BASF 巴斯夫
Kexcelled 诺思贝瑞
eSun 易生
Atomic Filament
Tiger3D
Kimya
SABIC 沙特基础



PLA 3D打印样件
来源: 3djake.at



ABS 3D打印样件
来源: NinJaTek

12 3D打印与塑料制品 | PA尼龙

粉末床工艺尼龙3D打印机

SLS
-选区激光烧结:

3D Systems
EOS
华曙
盈普
易加三维
华科三维
德迪
.....



▲ PA12 3D打印零件



▲ PA11 3D打印零件

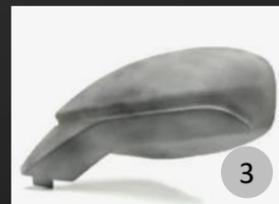
Multi Jet Fusion
-多射流熔融:

HP



◀ PA 11 3D打印矫形器

PA 12 3D打印车灯 ▶



HSS
-高速烧结:

voxeljet-维捷
XAAR
Stratasys SAF
选择性吸收融合
工艺 (基于
XAAR HSS 技术)



◀ PA 12 3D打印零件

材料挤出工艺PA 3D打印机

FDM/FFF:

Raise3D 上海复志
Intamsys-远铸智能
Markforged
Stratasys
BigRap
.....



5



5

◀ PA6 PA66 FFF 3D打印零件



5



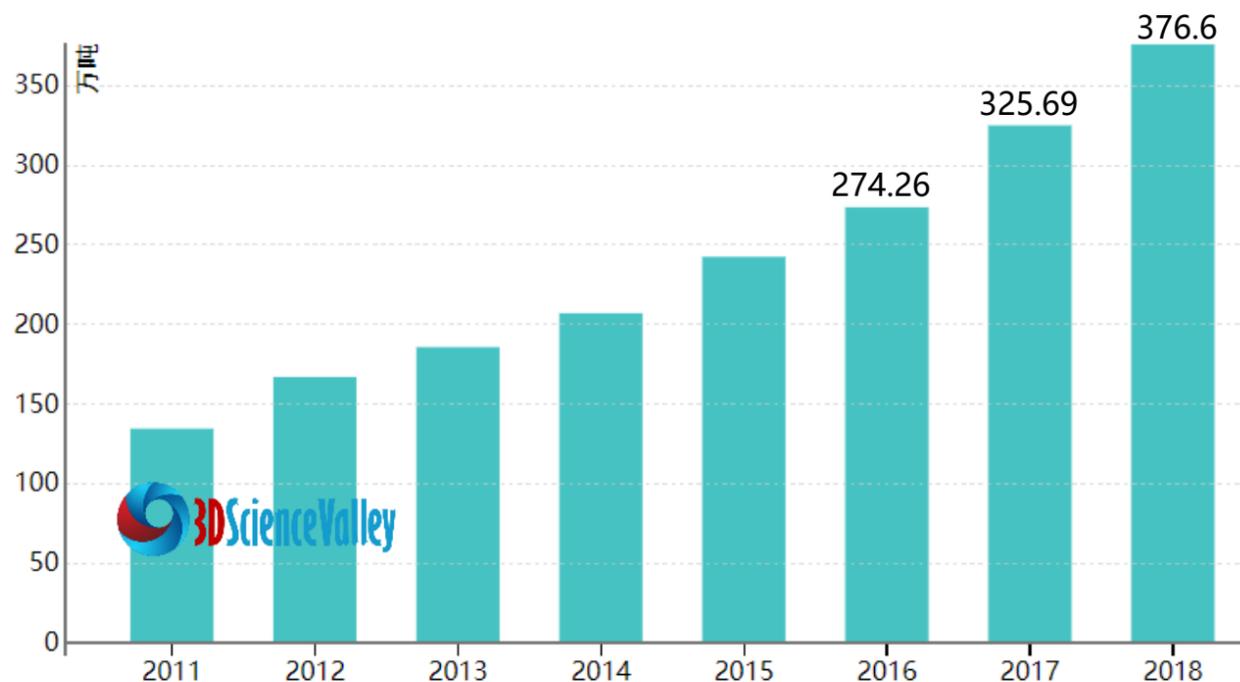
◀ 碳纤维尼龙复合材料3D打印零件

不同3D打印工艺制造的PA 零件举例:

1.来源: 3D Systems;2. 来源: EOS;3.来源: HP 惠普;; 4.来源: voxeljet-维捷; 5.来源: Intamsys-远铸智能。

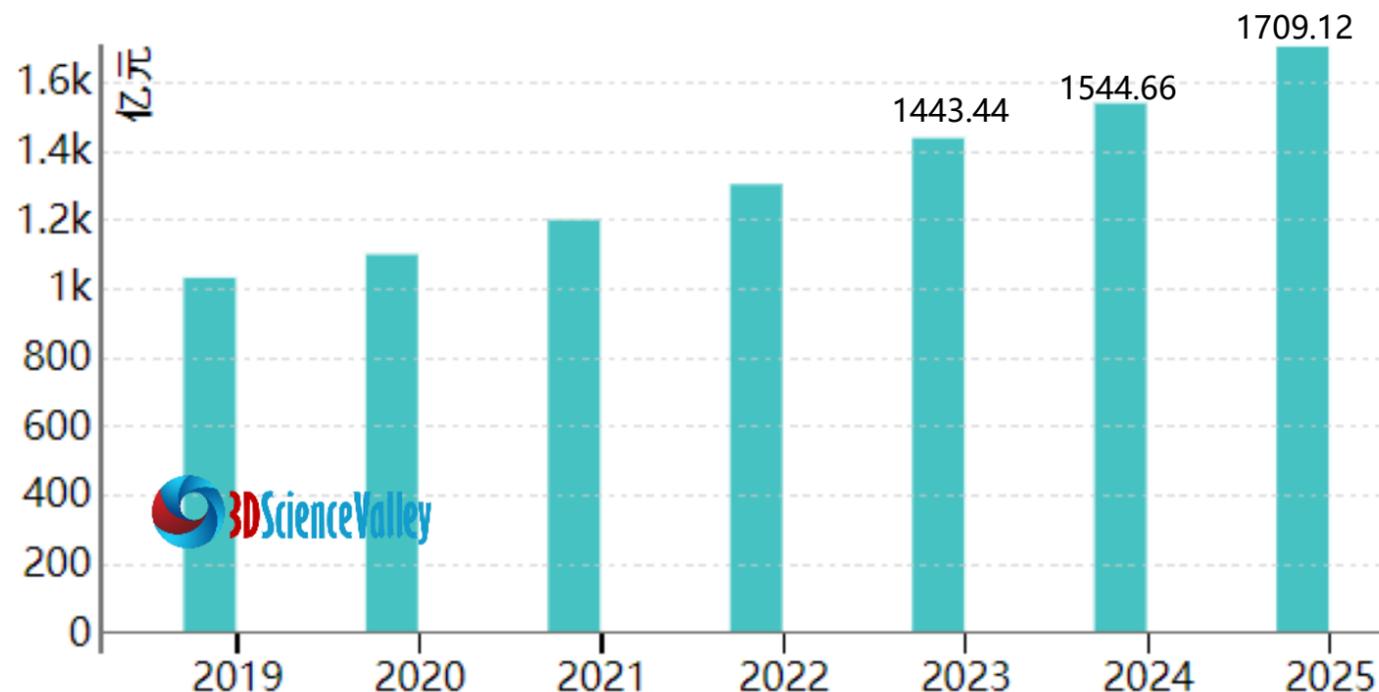
13 PA 尼龙材料市场

2011-2018 中国PA尼龙塑料产量 (万吨)



数据: 智妍咨询

2019-2025 中国尼龙市场规模预测 (亿元)



中国尼龙行业主要生产厂家包括: 神马股份、中国石油辽阳石油化纤公司、宁波舜龙锦纶有限公司及宜兴市太湖尼龙厂、南京聚隆尼龙有限公司。

PA的品种繁多, 包括: PA6、PA66、PA11、PA12、PA46、PA610、PA612、PAI010等, 以及近几年开发的半芳香族尼龙PA6T和特种尼龙等新品种。随着我国PA行业需求量的扩大, 各个龙头企业将加大研发生产力度, 尤其是在PA66和PA6两个方面, 行业集中度将得到进一步提升。

其中PA6、PA66产量与需求最大, 约占90%以上。近几年, 随着PA新品种和改性产品的不断开发, PA6和PA66的比重略有下降。PA11、PA 12具有突出的低温韧性;PA 46具有优异的耐热性而得到迅速发展。

尼龙纤维受益于国内经济的中高速发展, 跟宏观经济密切相关的纺织服装一直保持相对稳定的收入, 刚需支撑较足; 在尼龙高端产品细分领域, 国内公司已经把产品开发的主攻方向从民用领域向产业用领域延伸, 开发出了具有广阔应用前景的**工程塑料**、包装薄膜等非纤用切片。预计未来, 工程塑料市场仍将保持快速增长。

14 3D打印与塑料制品 I PC

-材料挤出工艺
FDM/FFF:

3DXTech
Airwolf 3D
Clariant
KIMYA
SABIC
TreedFlament
Polymaker
.....

1

PC 3D打印丝材

2

PC-PBT 共混物
3D打印丝材

3

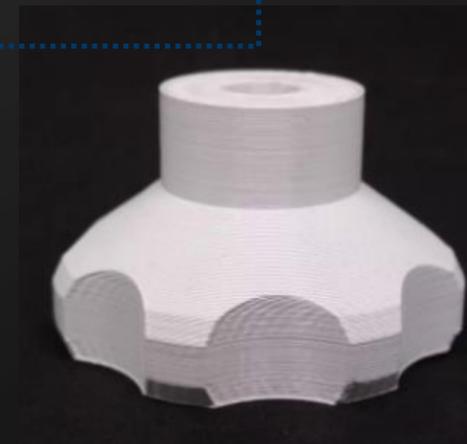
PC-ABS 共混物
3D打印丝材

4

PC-ASA 共混物
3D打印丝材

5

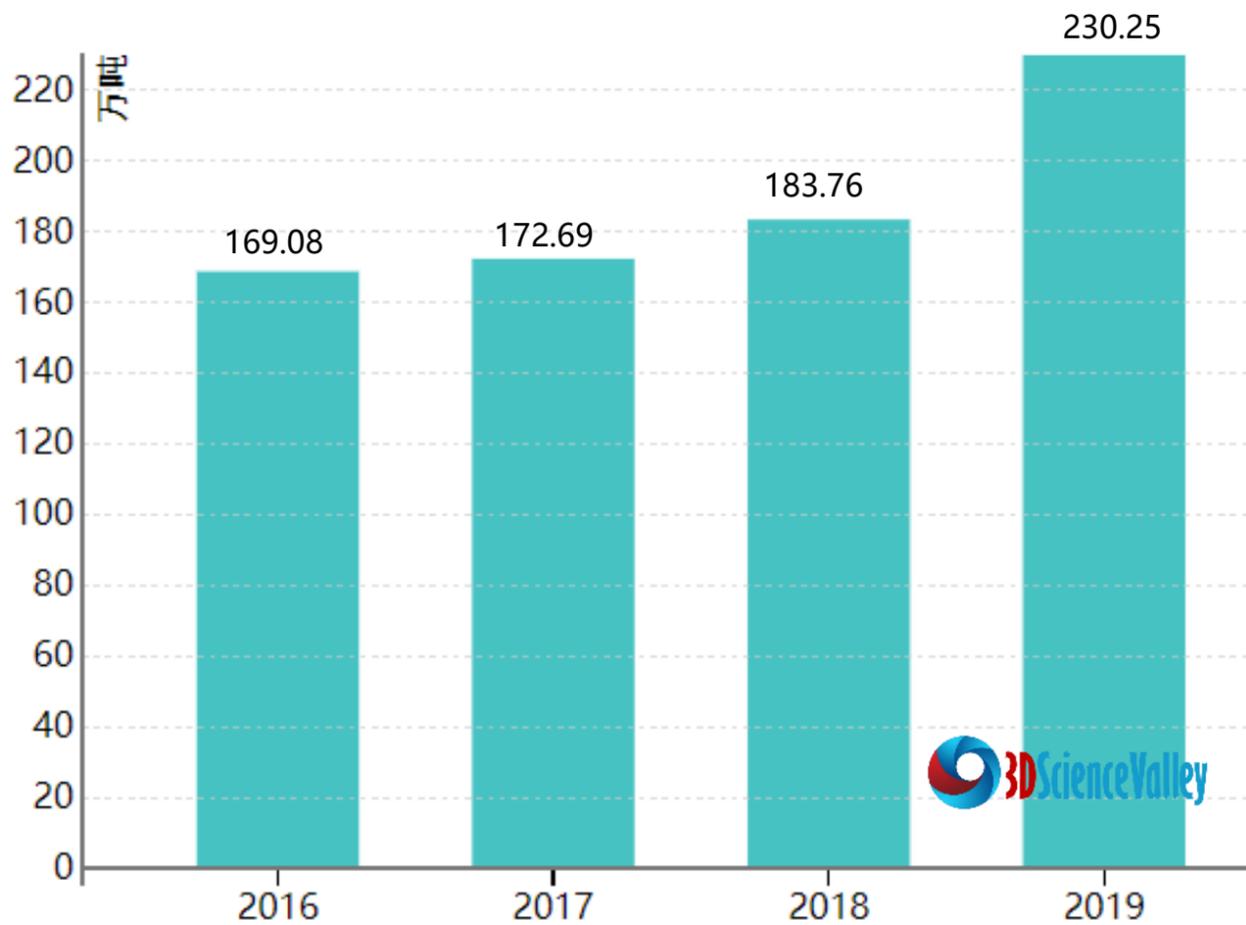
PC 碳纤维增强
3D打印丝材



PC-ASA 共混聚合物3D打印零件
来源: Fusion3

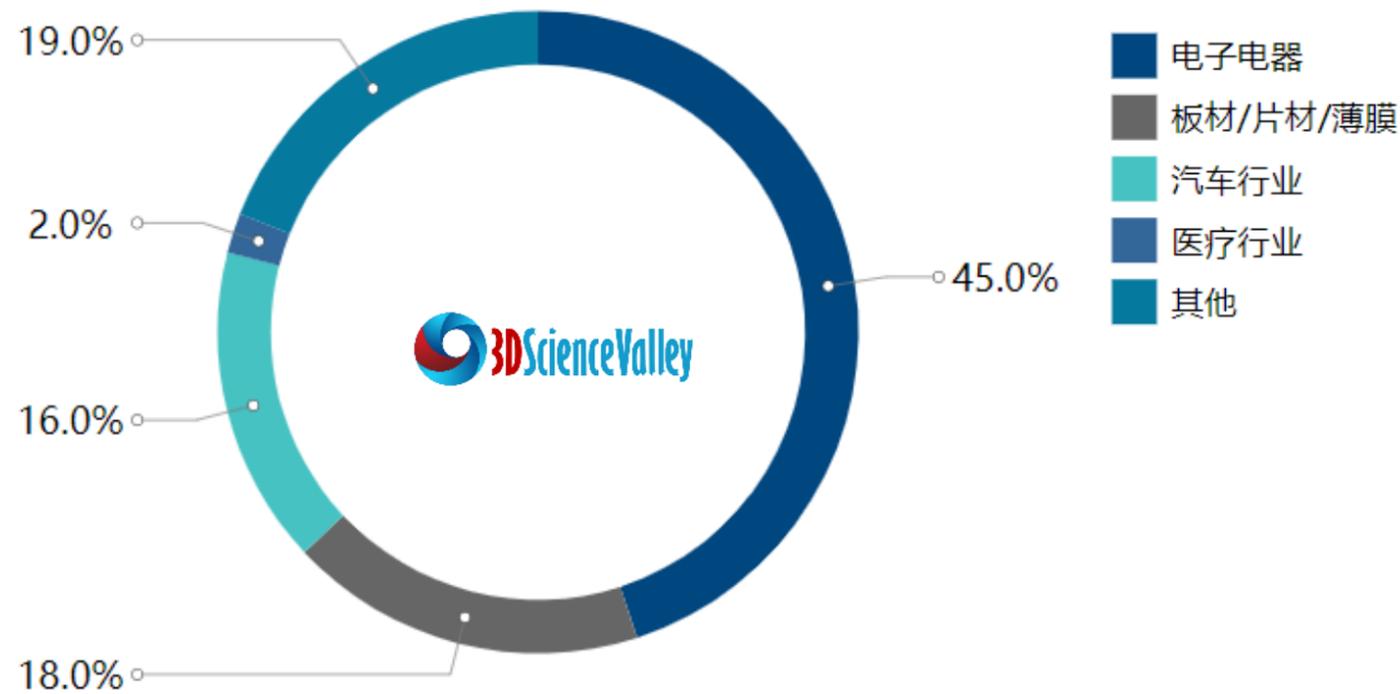
15 PC 聚碳酸酯材料市场

中国聚碳酸酯需求量 (万吨)



数据：海关数据、智研咨询

中国聚碳酸酯下游市场需求结构



数据：海关数据、智研咨询

16 3D打印与塑料制品 | PEEK/PEKK

粉末床工艺与PEEK/PEKK 粉末

SLS -选区激光烧结：

Evonik 赢创

- VESTAKEEP AM 9000
- VESTAKEEP I4 3DF-T-PEEK

OPM

- OXPEKK OXFAB

HEXCEL 赫氏

- HexPEKK EM

EOS

- EOS PEEK HP3

.....

材料挤出工艺与PEEK/PEKK 线材

FDM/FFF:

VICTREX

- VICTREX™ PEEK and PAEK

Solvay 索尔维

- Ketaspire PEEK AM Filament MS NT1

ESSENTIUM Materials

- ESSENTIUM PEEK

Lehmann&Voss&Co.

- LUVOCOM 3F PEEK 8581 NT

Intamsys-远铸智能

- INTAMSYS PEEK

Arevo Labs

- Katevo

- Peek F1

.....



PEKK/PEEK 3D打印零件举例

1. SLS 3D打印植入物

来源：OPM

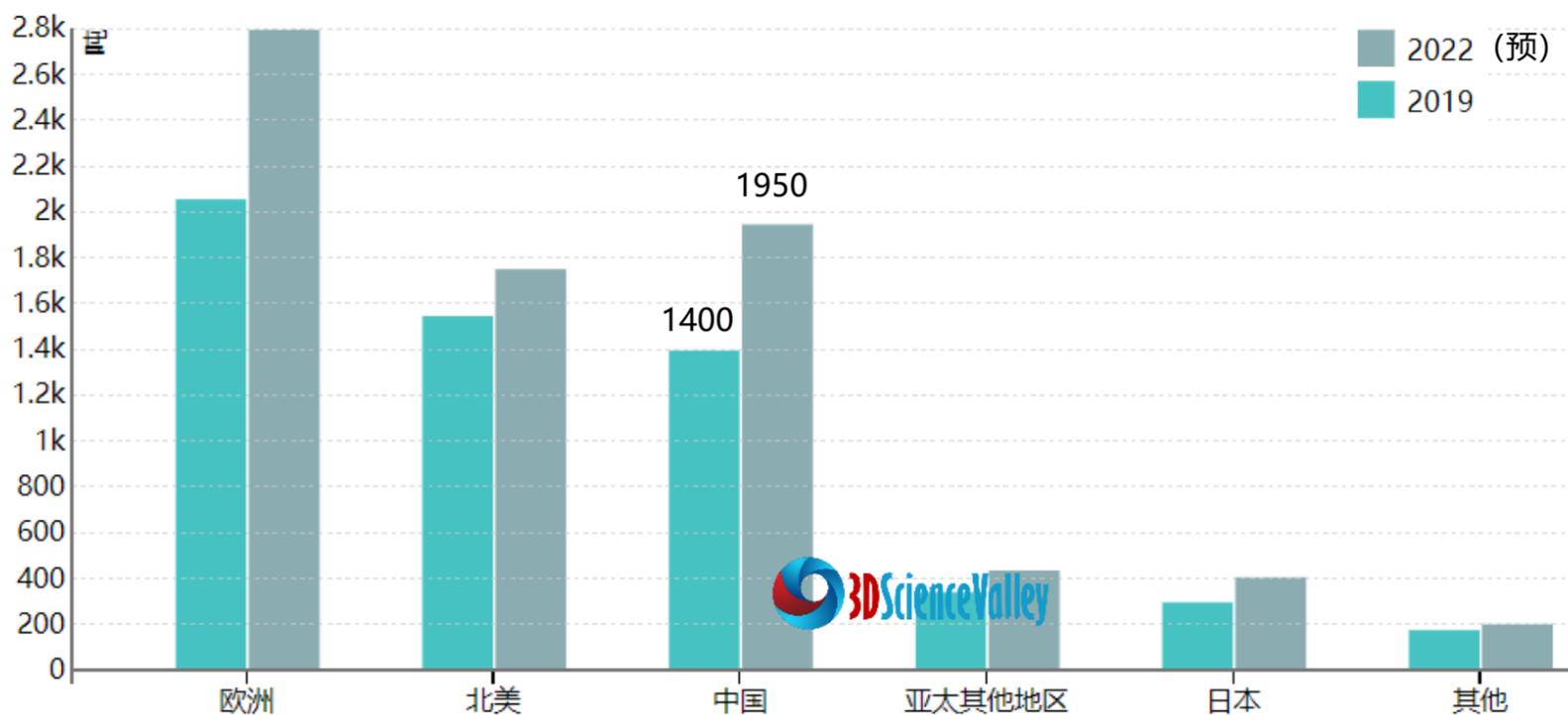
2. 优化设计的PEKK碳纤维复合3D打印支架

来源：Hexcel

3. FFF 3D打印汽车零部件

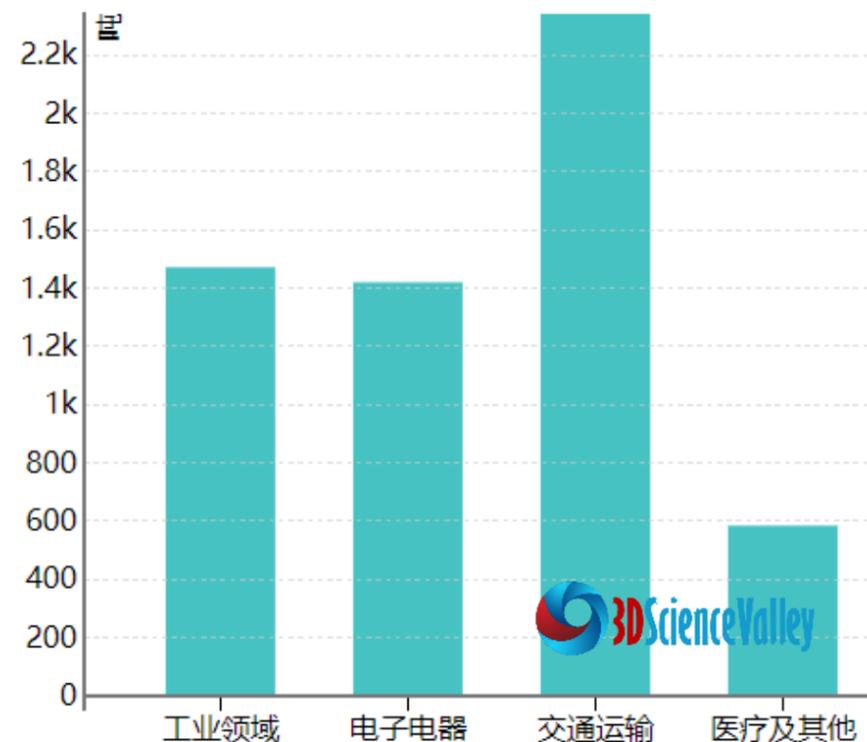
来源：Intamsys-远铸智能

全球主要地区PEEK 材料消费量 (吨)



数据：华经产业研究院

2019 全球PEEK材料各领域消费量 (吨)



PEEK 材料生产商:



吉林中研高分子
吉大特塑,
山东浩然特塑
盘锦中润特塑
金发科技
上海超聚新材料科技
.....

18 3D打印与塑料制品 I PEI (ULTEM) 聚醚酰亚胺

材料挤出工艺与PEI 线材

FDM/FFF:

SABIC

- ULTEM 9085
- ULTEM 1010

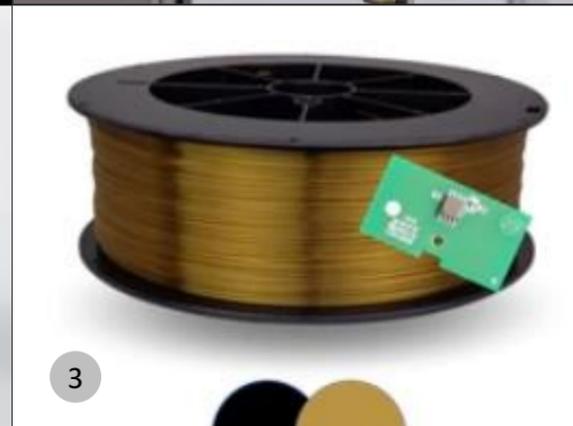
Triton 3D

Stratasys

Intamsys

3DXTech

.....



PEI 3D打印零件举例

1. ULTEM 1010和ULTEM 9085 3D打印零件
来源: Stratasys
2. 航天运载器上使用的 ULTEM™ 9085 3D打印环境控制管
来源: Intamsys
3. ULTEM 1010 3D打印线材
来源: Triton 3D

19 3D打印与塑料制品 | PP 聚丙烯

粉末床工艺与PP 粉末

SLS -选区激光烧结:

EOS
Prodways
RICOH
BASF-巴斯夫
ALM
AM Polymer Research
Lehmann&Voss&Co.
万华化学
.....

Multi Jet Fusion -多射流熔融:

HP 惠普
BASF 巴斯夫

HSS -高速烧结:

voxeljet-维捷

材料挤出工艺与PP 线材

FDM/FFF:

DSM
• 用于熔融颗粒 (FGF)
3D打印的玻璃纤维填充的聚丙烯材料-
Arnilene ® AM6001
GF
.....

PP聚丙烯 3D打印零件举例

1. 3D打印矫形器

来源: Raise3D 上海复志

2. 汽车工业-3D打印歧管

来源: HP/裕克施乐

3. PP 3D打印原型件

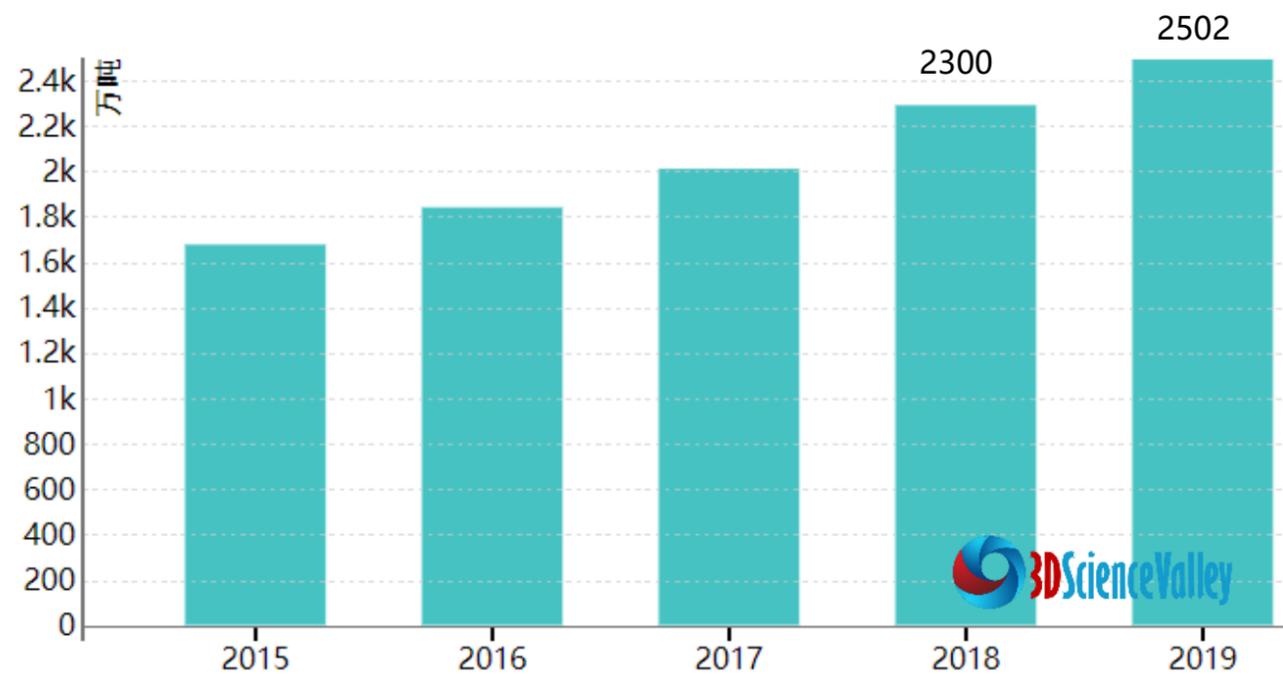
来源: Ultimaker



20 PP 聚丙烯材料市场

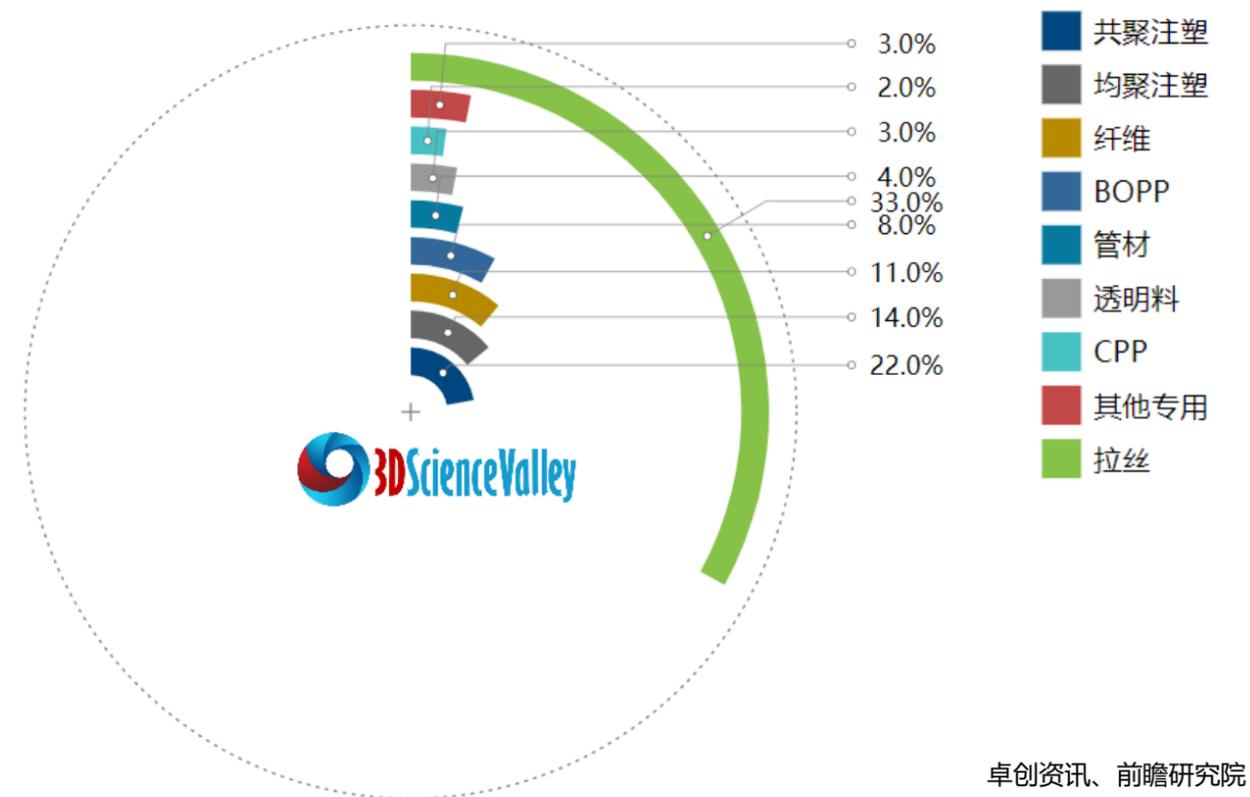
聚丙烯(PP)是一种性能优良的热塑性合成树脂，为无色半透明的热塑性轻质通用塑料。具有耐化学性、耐热性、电绝缘性、高强度机械性能和良好的高耐磨加工性能等，这使得聚丙烯自问世以来，便迅速在机械、汽车、电子电器、建筑、纺织、包装、农林渔业和食品工业等众多领域得到广泛的开发应用。

2017-2020 中国PP聚丙烯塑料产量 (万吨)



数据：中国合成树脂协会、前瞻研究院

2019 中国PP聚丙烯消费结构



卓创资讯、前瞻研究院

21 3D打印与塑料制品 | TPU 热塑性聚氨酯

粉末床工艺与TPU 粉末

SLS -选区激光烧结：

BASF 巴斯夫

- Adsint TPU 90 flex
 - Ultrasint TPU 88A
- Lehmann&Voss&Co.
- LUVOSINT TPU X92A-1
 - LUVOSINT TPU X92A-2
 - LUVOSINT TPU X97A-WT

万华化学

- WANFAB®PU-90AN
- WANFAB®PU-95AN

Multi Jet Fusion -多射流熔融：

BASF 巴斯夫

- Ultrasint TPU 01
- Lubrizol 路博润
- Estane 3D TPU M95A-545

HSS -高速激光烧结：

Covestro

- Addigy®

材料挤出工艺与TPU 线材

FDM/FFF:

Essentium Materials

- Essentium TPU58D-AS
- Essentium TPU74D

万华化学

- WANFAB®FT1080
- WANFAB®FT1085
- WANFAB®FT1090
- WANFAB®FT-1095

Covestro

- Addigy®

...



TPU 3D打印零件举例

1. FFF 3D打印鞋面

来源：Raise3D-上海复志

2. 匹克3D打印运动鞋中底，采用 SLS 技术与TPU 粉末

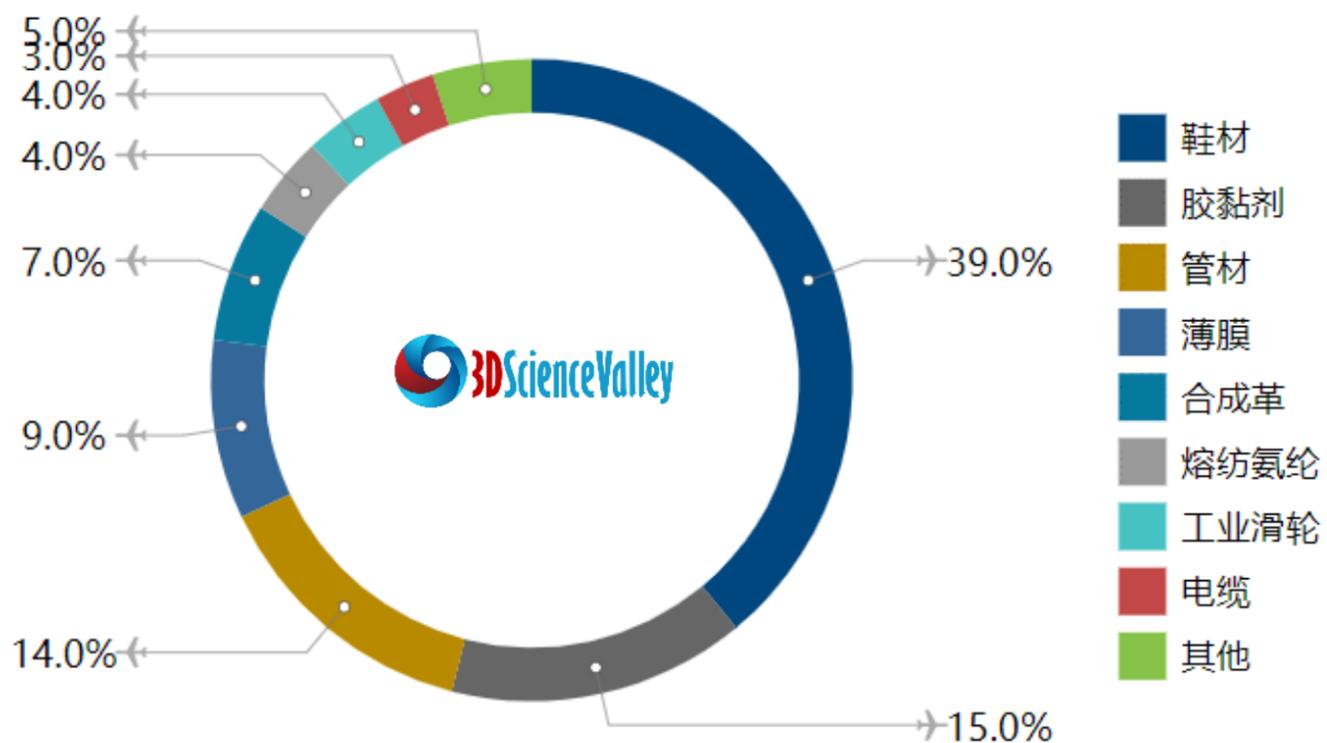
来源：易加三维

3. FFF 3D打印 TPU 柔性材料

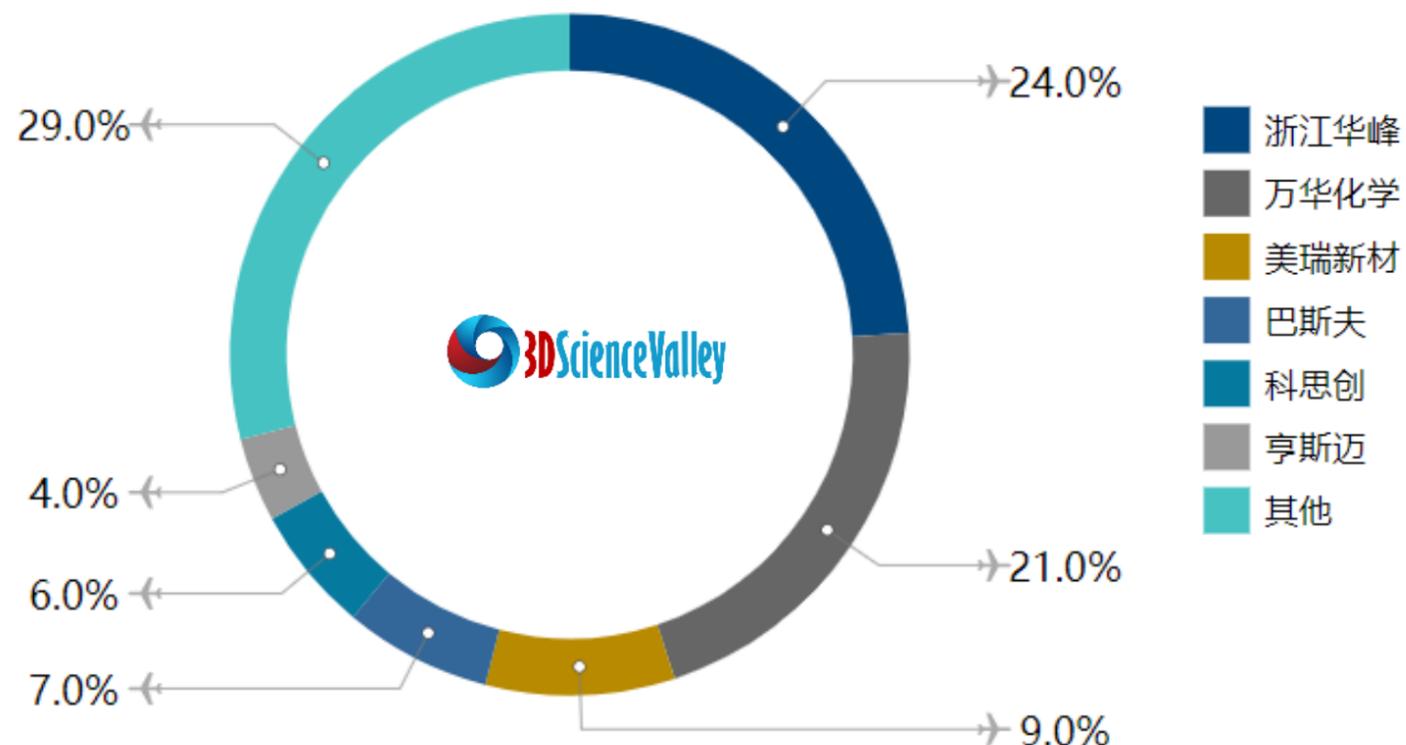
来源：Intamsys-远铸智能

4. 万华化学TPU 3D打印材料，来源：万华

TPU 下游应用市场



2019年中国TPU行业生产格局分布



数据：观研天下

23 典型3D打印复合材料-材料挤出、粉末床工艺

碳纤维复合	玻璃纤维复合	金属复合	其他
PA	PA	PA-铝填充粉末	PA-高强度阻燃合成纤维
PA-碳纤和玻纤			
PLA		PLA-铜; PLA-不锈钢; PLA-青铜	PLA-木纤维
PEKK/PEEK			
ABS			ABS-高强度阻燃合成纤维
PC			
	ABS/PC		
PETG	PETG		
PEI	PEI		
	PP		
PET			
PPE	PPE		
PPS			
PPSU			

1. PP玻璃纤维复合3D打印丝材

2. PEI 碳纤维复合3D打印零件

3. PEEK碳纤维材料3D打印零件

图片: 1. 来源: 巴斯夫 Ultrafuse® PP GF30;
2.来源: TechmerPM 3. 来源: 索尔维

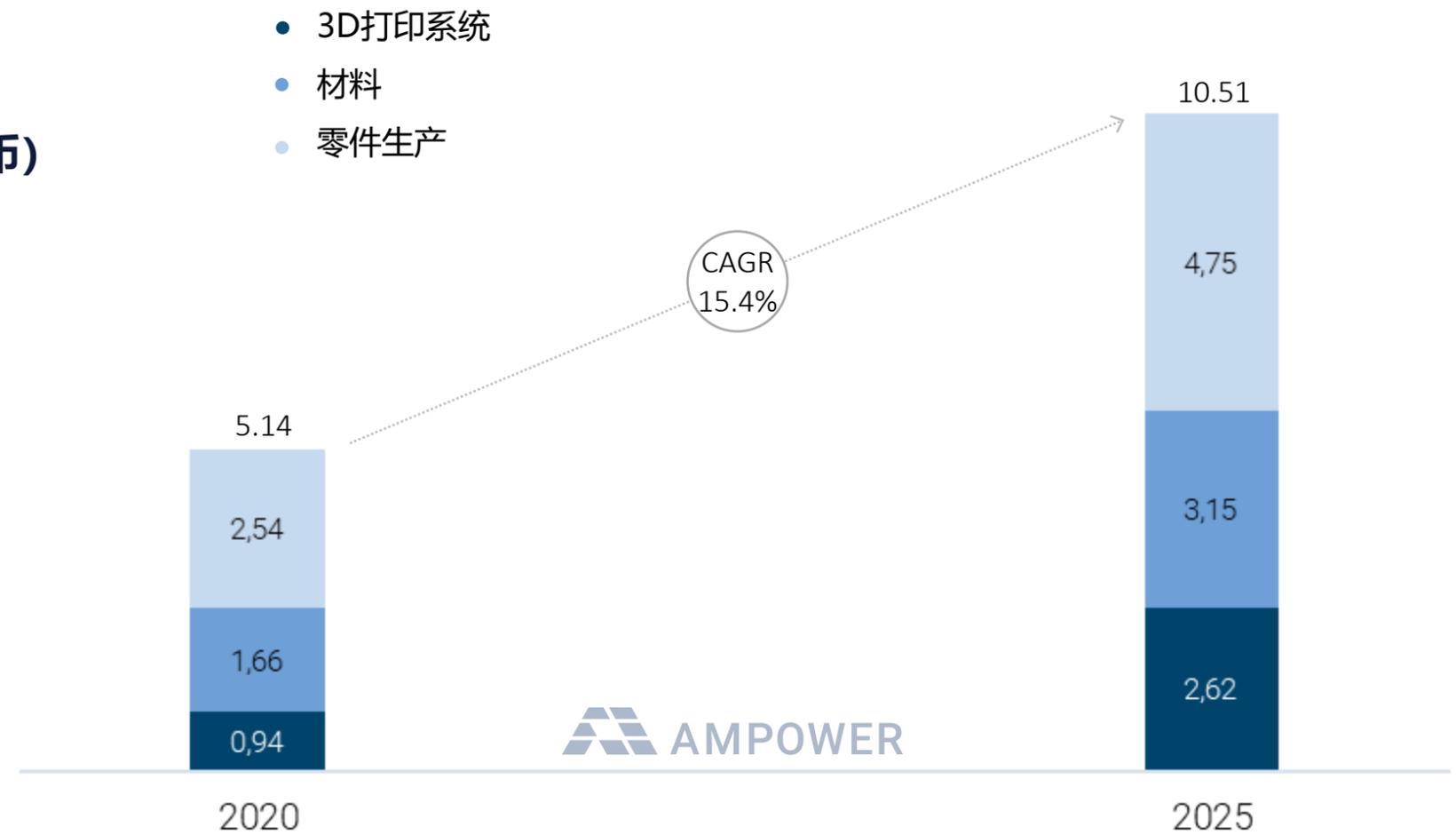
塑料3D打印发展趋势



www.3dsciencevalley.com

- 2020年聚合物3D打印的整体市场规模为51.4亿欧元 (约402亿人民币)
- 截至2025年, 每年的预期增长率为15.4%
- 2025年市场总额将达到105亿欧元 (约822亿人民币)
- 新冠疫情防疫需求推动了医疗应用及备件3D打印业务

2020年全球聚合物 (塑料) 3D打印市场规模及2025年市场预测 (十亿欧元)



Source: additive-manufacturing-report.com
© Copyright 2021, AMPOWER GmbH & Co. KG

25 塑料增材制造工艺发展成果

1

粉末床工艺

- 用于塑料零件生产
- 更高效的选区激光烧结系统
- 低成本小型化烧结系统
- 自动化打印后处理工艺得到发展
- 多材料粉末床塑料3D打印技术初步发展

2

光聚合工艺

- 面向最终零件生产
- 具有潜力的光聚合3D打印创新技术-双光子聚合与体积3D打印

3

材料挤出工艺

- 材料挤出工艺3D打印设备生产集群
- 应用于高性能工程材料的材料挤出3D打印工艺走向成熟
- 热塑性材料、复合材料快速沉积大型3D打印设备得到应用发展
- 与机器人相结合的材料挤出3D打印设备

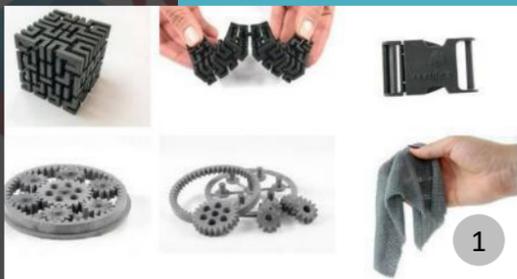
4

材料喷射工艺

- 超越快速原型应用
- 支持高通量、高性能材料制造

26 面向批量生产的粉末床3D打印系统

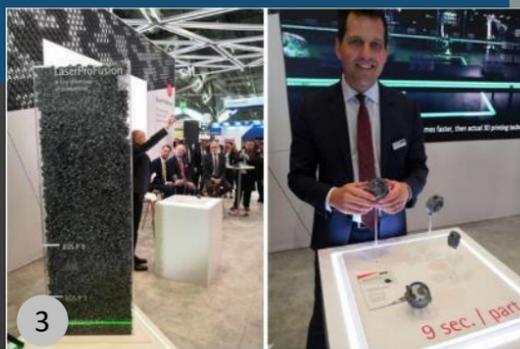
HSS 高速烧结



MJF 多射流熔融



LaserProFusion



生产级
粉末床3D打印系统

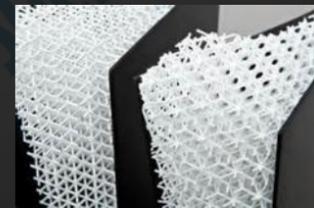
SAF



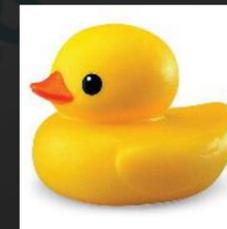
复杂

简单

3D打印与注塑工艺PK的空间



大批量复杂产品
Faster / 3D打印需要速度更快



大批量简单产品
传统注塑更具优势

小批量简单产品
Cheaper / 3D打印需要更便宜

小批量

大批量

27

低成本小型化激光烧结系统



FUSE 1
成型尺寸: 165×165×320 mm
材料: PA 12, PA 11...



Sintratec S2 可扩展紧凑型SLS 系统
成型尺寸: 1,490 × 990 × 600 mm
材料: PA 12, TPE...

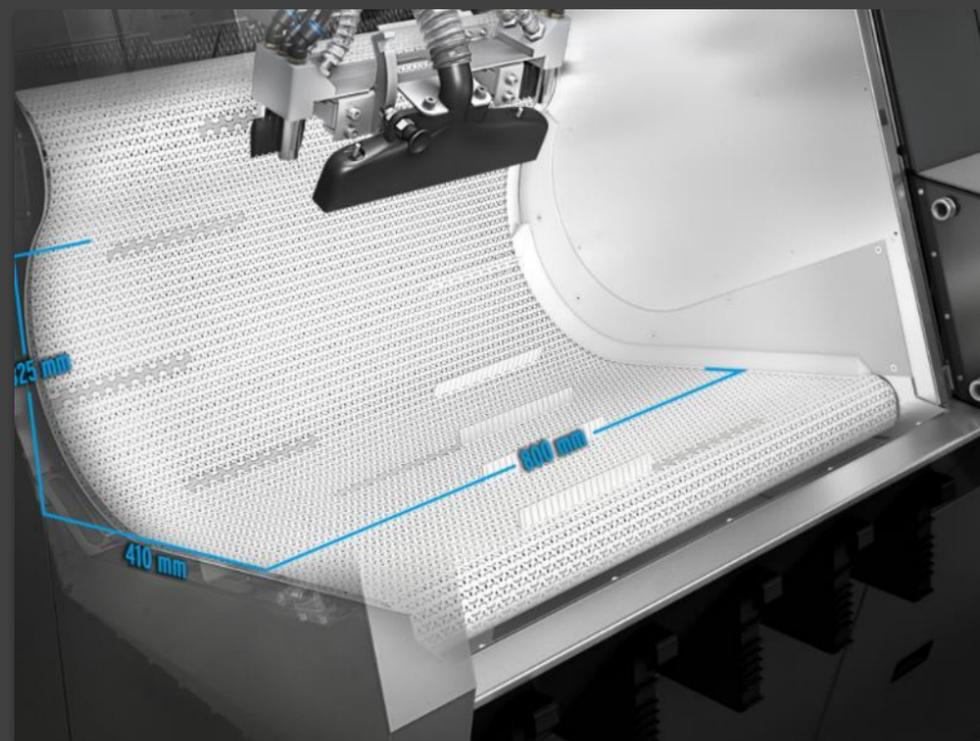


Sinterit Lisa 桌面级SLS 3D打印机
成型尺寸: 150 × 200 × 260 mm
材料: PA11, PA 12, TPU...



Natural Robotics VIT
成型尺寸: 250 x 250 x 300 mm
材料: PA 12

28 自动化3D打印后处理技术



3D打印零件后处理数量



DYEMANSION 面向聚合物3D打印零件批量生产的后处理系统



经过表面后处理的3D打印产品

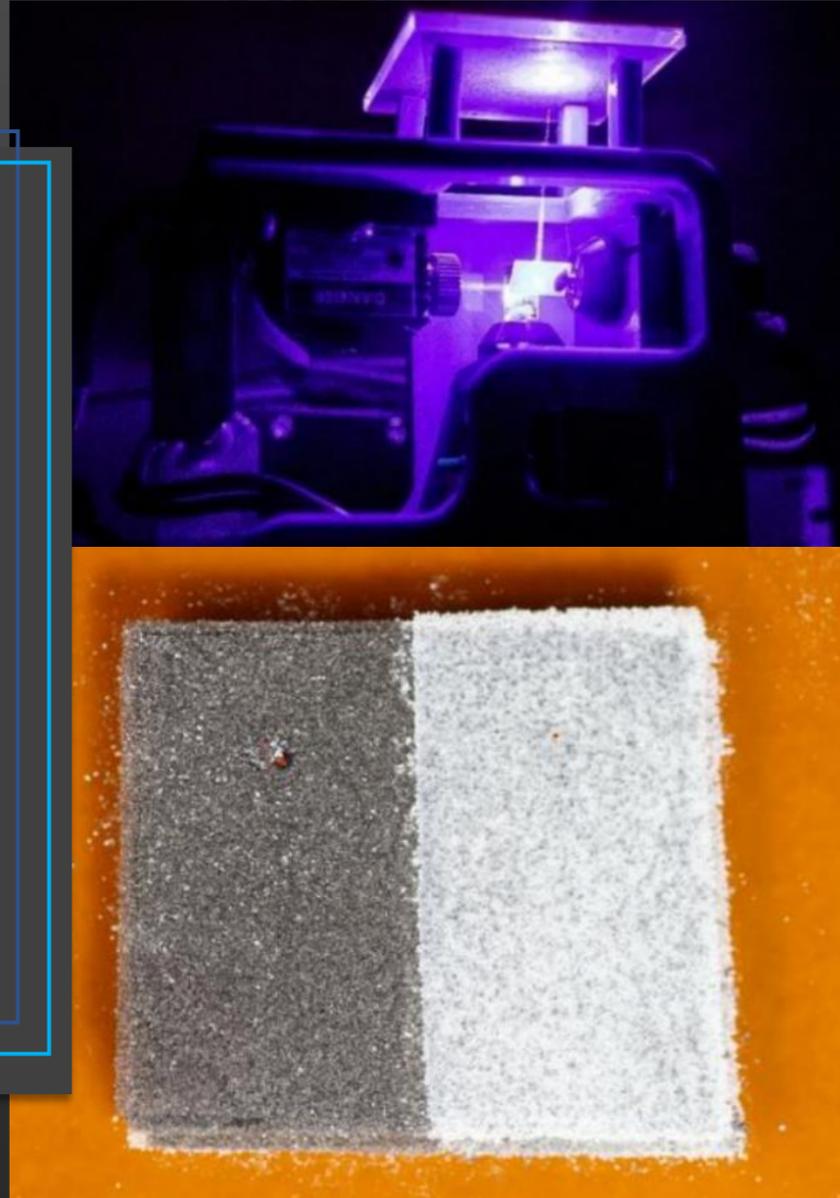
图片来源: DYEMANSION



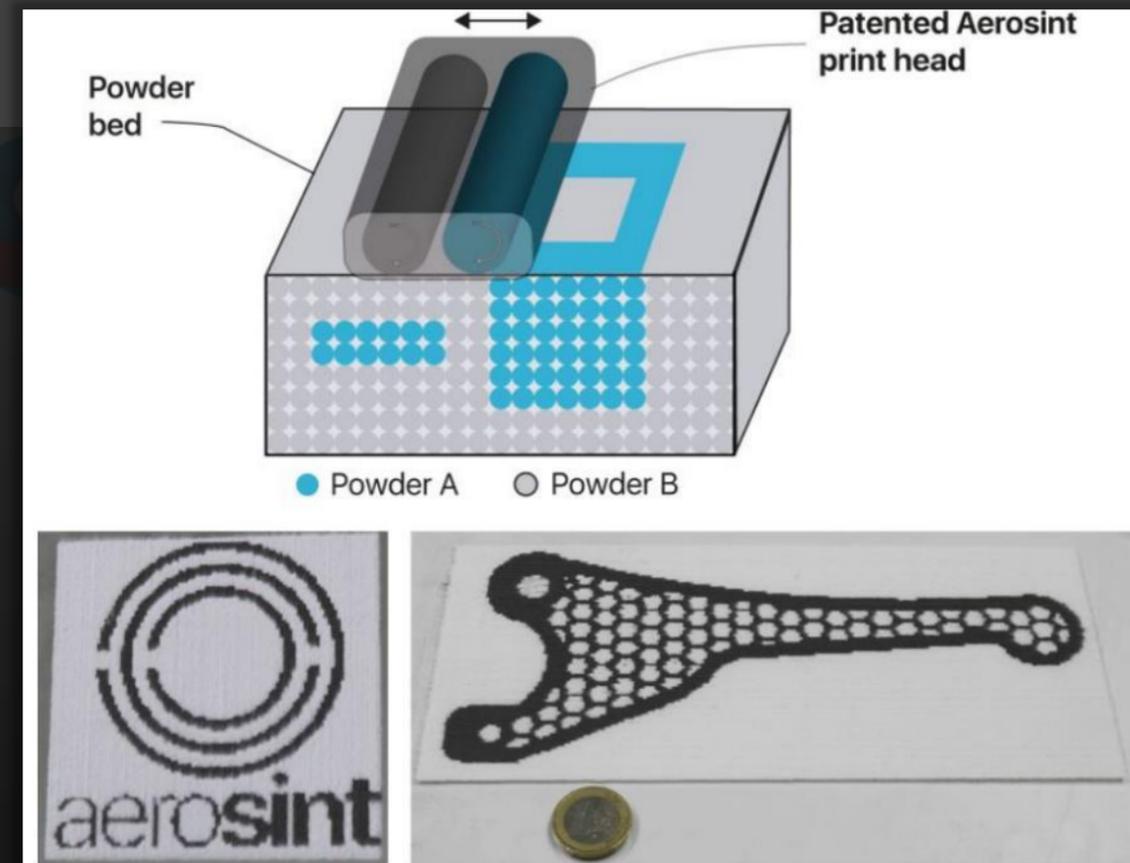
AMT 在聚合物3D打印零件表面处理平台 PostPro 3D 中集成三菱电机的机械臂，六轴机械臂将3D打印零件装进后处理机器或从中取出，生产效率可扩展到每小时数百个零件。

29 多材料和彩色粉末床塑料3D打印技术

哥伦比亚大学工程学院采取了一种新的粉末材料烧结方式，这一方式中不再需要标准选区激光烧结设备中的大型粉末床，取而代之的是由打印平台将透明玻璃板放置在一层薄薄的塑料粉末材料上，然后激光束从下方照射粉末，将一层粉末烧结到玻璃板上，接下来如果需要打印另外一种不同的材料，则由打印平台将玻璃板移动到另外一种薄薄的粉末上，仍由激光束从下方照射，并将不同材料烧结到上一层材料表面。这一过程重复进行，直至完成零件的打印。

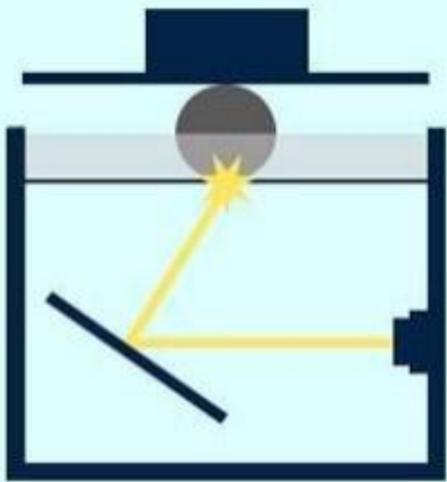


Aerosint 采用的是一种称之为“选择性粉末沉积”的技术，该技术也改变了标准选区激光烧结中的铺粉工艺，改为通过可旋转的转鼓沉积粉末材料，在打印过程中，转鼓穿过整个打印区域，每个转鼓沉积一种材料，至少使用两个转鼓来实现多材料沉积。在两种不同材料中，其中一种廉价粉末被用作支撑材料。



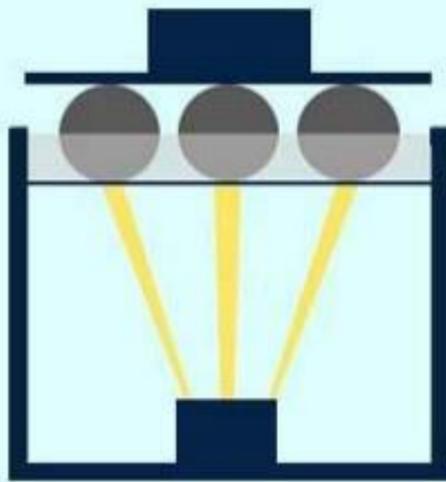
30 典型光聚合3D打印技术

SLA
Stereolithography (laser)



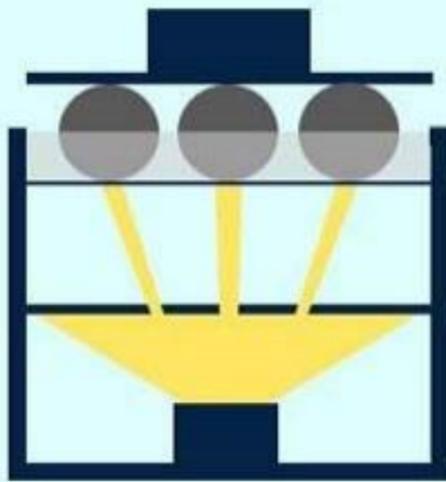
激光束逐点固化液态树脂。

DLP
Digital Light Processing

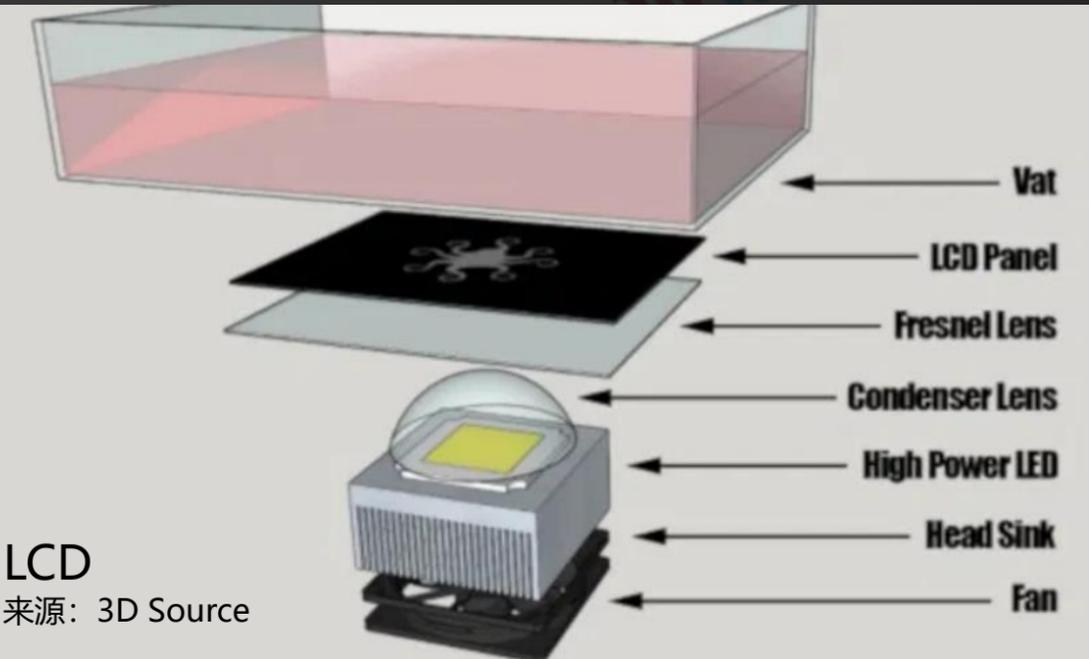


投影仪将光透射整个树脂液层上，使用数千个数字微反射镜 (DMD) 有选择的固化零件。

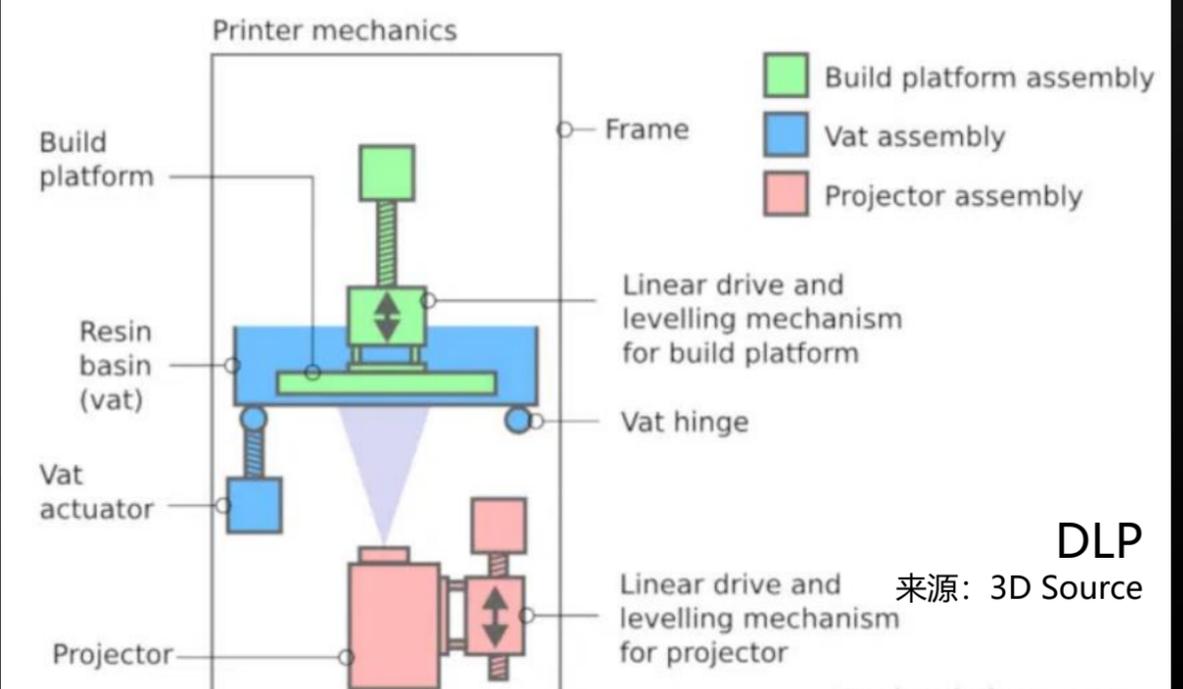
LCD
Liquid Crystal Display



使用带有LED灯的LCD面板来固化树脂，但是LCD打印机不使用反射镜，而是通过LED发光，LCD面板在不需固化的区域将其遮挡住。



LCD
来源: 3D Source



DLP
来源: 3D Source

31 面向最终零件生产的光聚合3D打印技术



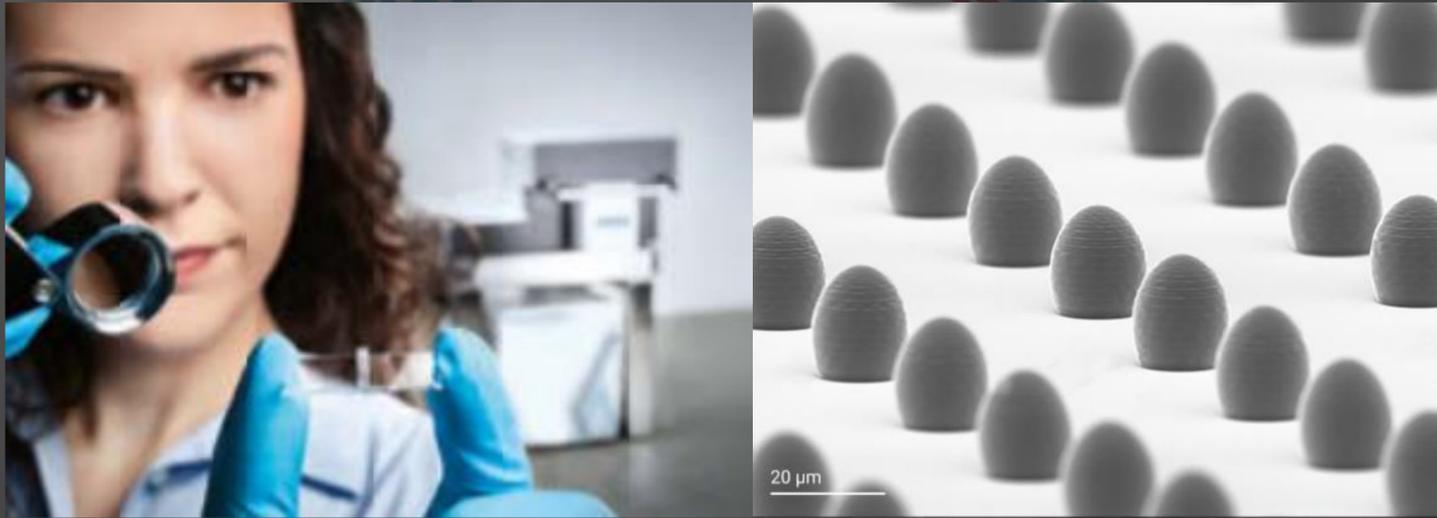
通过 Figure 4™ 3D打印设备与配套的生产级树脂材料生产的3D打印零件。

福特野马GT500电子驻车制动器支架，使用Carbon 的高速光固化（基于DLS™ 工艺）3D打印设备生产。

音频公司Sennheiser Ambeo 使用Formlabs LFS 立体光固化3D打印技术定制生产耳机配件。

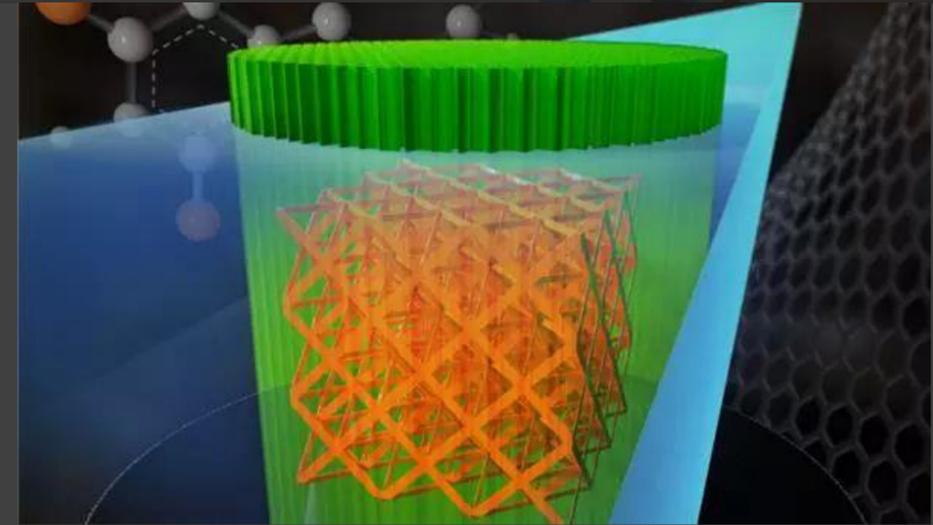
3D打印定制眼镜服务商BRAGi（佩极）通过LuxCreo LEAP® 3D打印技术和透明树脂材料TM79 生产眼镜框。

32 具有潜力的光聚合3D打印创新技术



Nanoscribe公司的Photonic Professional 系列3D打印系统在短时间内制作的3D非球面微透镜阵列。图片来自于Aleksander Bogucki, University of Warsaw。

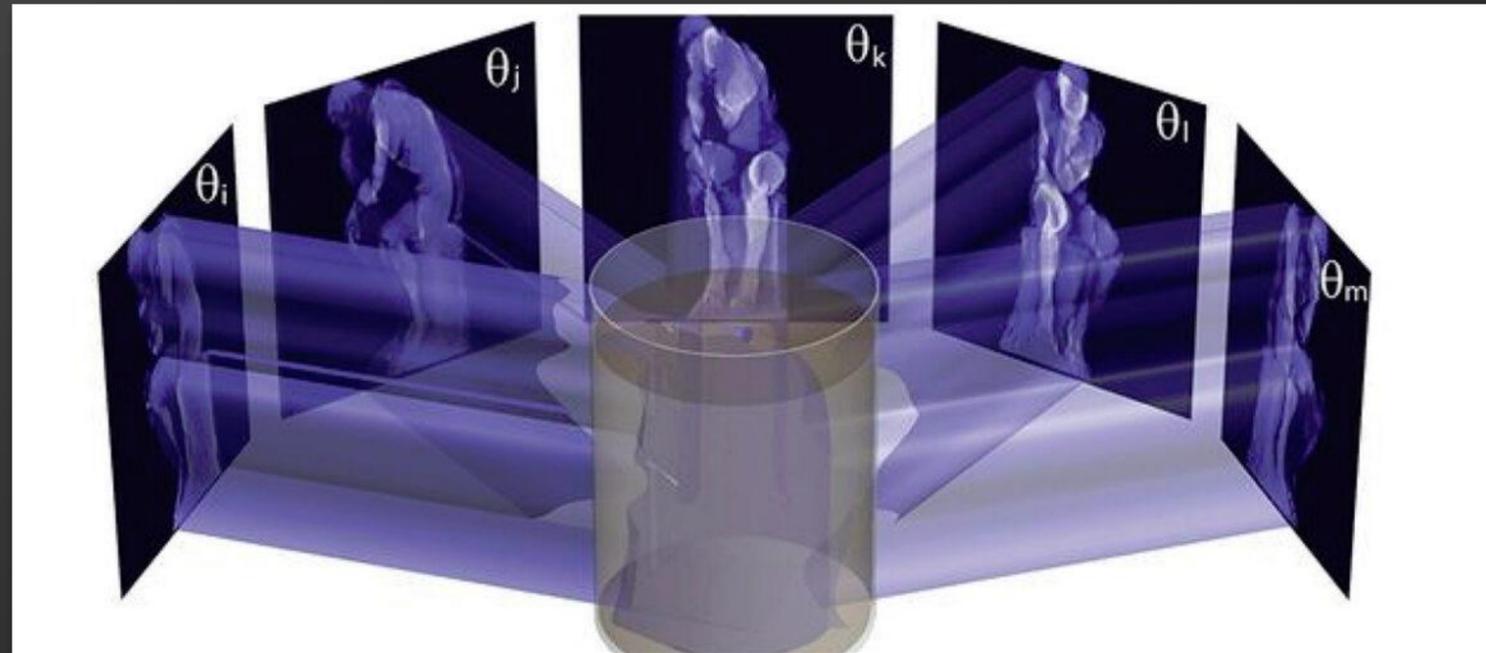
通过将飞秒激光器发出来的高能激光聚焦于极小的三维焦点上，位于焦点处的材料吸收能量快速固化。然后通过纳米量级移动精度的三维压电陶瓷台的运动或者分层激光扫描的方式实现了三维激光在微米和纳米尺度下的器件加工。



LLNL的研究人员已经找到了一种改进双光子聚合 (TPL) 的方法，双光子聚合是一种纳米级3D打印技术，LLNL将双光子聚合3D打印技术开发到可以兼顾微观精度同时又满足较大的外型尺寸的水平。

33 体积3D打印

目前，增材制造的应用范围正在迅速扩大，包括运动鞋部件、牙科陶瓷和航空航天部件的大规模生产，以及微流体、医疗设备和人工器官的制造。所使用的光诱导增材制造技术，由于其高度的时空控制而尤为成功，但这些技术仍然具有点状或层状生成的共同问题，如立体光刻、激光粉末床熔化、连续液体界面生产及其衍生品。而体积3D打印，是连续增材制造方法下一步的方向。



LLNL（劳伦斯·利弗莫尔国家实验室）国家实验室推出了一种新的瞬时光刻技术可以通过使用全息光场在几秒钟内完成整个3D形状的制作。研究人员通过将三维全息图像分成三个不同的部分，然后通过分开的激光束将其投射到树脂箱中，激光从前部、底部和侧面进入，在激光重叠的地方形成3D光场。研究人员使用的树脂是一种光敏聚合物，一旦达到了一定的激光能量照射阈值，就会发生固化反应，固化结束后液态树脂被排出，留下3D结构的产品

34

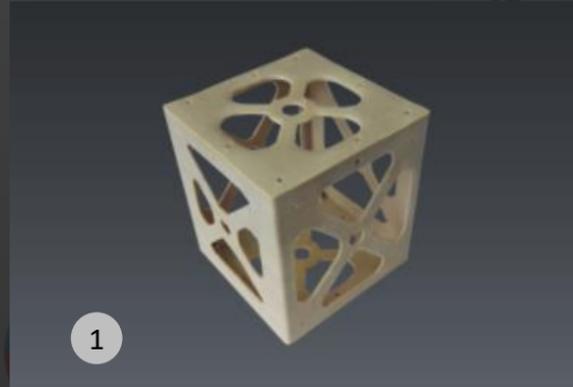
材料挤出工艺3D打印设备生产集群



英国紧身衣品牌VORTEQ购置12台Raise3D Pro2 Plus 3D打印机，充分整合RaiseCloud云平台，组成3D打印农场，制作人体模型。

35 应用于高性能工程材料材料挤出3D打印工艺走向成熟

材料挤出3D打印典型高性能工程材料-PEKK



材料挤出3D打印典型高性能工程材料-ULTEM(PEI)



在3D打印领域中，PEEK主要应用于金属替换，功能件成型测试和零件生产。

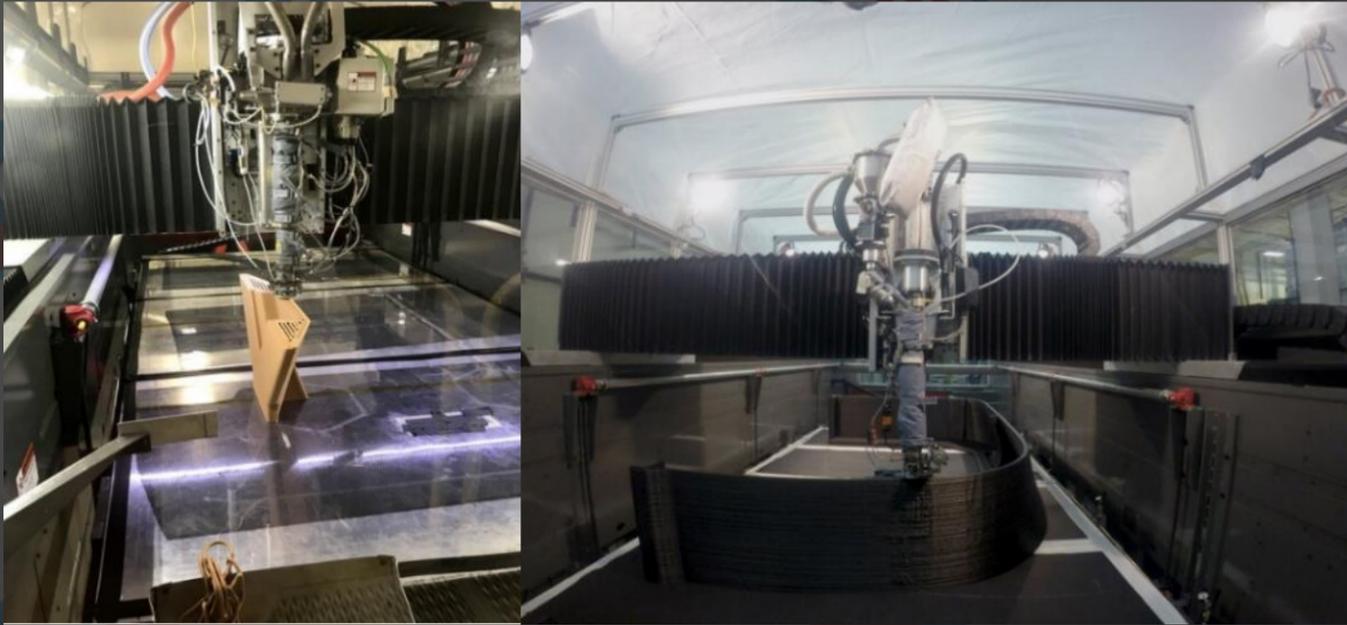
高性能工程材料3D打印应用举例：

1. PEEK 3D打印零件，来源：Intamsys 远铸智能；2. ULTEM 3D打印零件，来源：Intamsys 远铸智能；3. ULTEM 3D打印零件，来源：Roboze。

ULTEM™1010树脂是一种无定形，透明的聚醚酰亚胺塑料，具有较强的流动性和215°C的玻璃化转变温度(Tg)。ULTEM™9085树脂的玻璃化温度(Tg)为186°C，可用于3D打印耐高温的零件。

除了出色的强度/重量比和出色的耐热性外，Ultem™AM9085F还具有UL 94-V0认证，这归功于其高阻燃性。FST认证（火焰，烟雾和毒性）证明了燃烧过程中产生的烟雾无毒。它具有良好的电绝缘性能，可在很宽的温度和频率范围内保持稳定。这些众多的特性使其成为运输，消费电子以及航空和航天工程行业中生产原型和功能部件的理想材料。

36 热塑性材料、复合材料快速沉积大型3D打印设备得到应用发展



BAAM 是一种大幅面增材制造技术，材料为聚合物颗粒材料，该技术以快速的速度和少量的成本生产大型，接近最终形状的零件。CINCINATI 推出的 BAAM 设备材料挤出沉积速度约为36千克/小时。



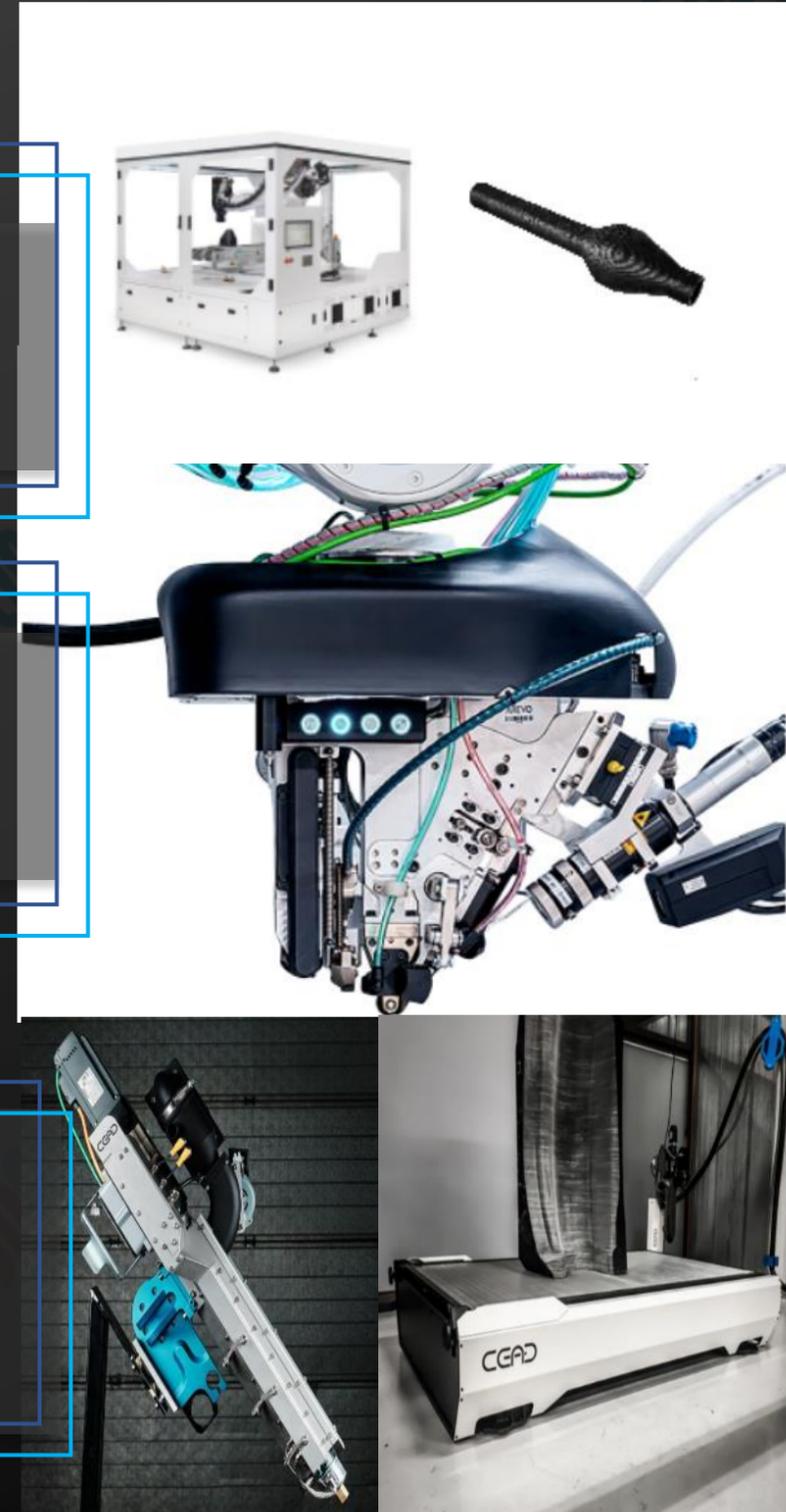
泉州连绵带山峦景观桥,分为16段,采用纵向打印,打印后组装完成。组装后,总长17.5米,高3.2米,宽3.2米,重量12吨。酷鹰机器人这次使用了新款10公斤级打印头,大幅提升了打印速度,打印时间仅需5周。3D打印材料由Polymaker生产的ASA-玻纤复合颗粒材料,根据酷鹰大尺寸3D打印设备的特点优化了流动性,以满足使材料能够满足其大幅提升打印提速的要求。

37 机器人与材料挤出3D打印工艺集成

伊之密SpaceA-1-900-500-S柔性增材制造系统，集成了高效紧凑的挤出装置，智能化的人机交互控制系统，六轴定位系统和粒料干燥输送系统。可以实现不同材质和尺寸的制品打印。图中案例为文氏管，使用PA+GF原料。

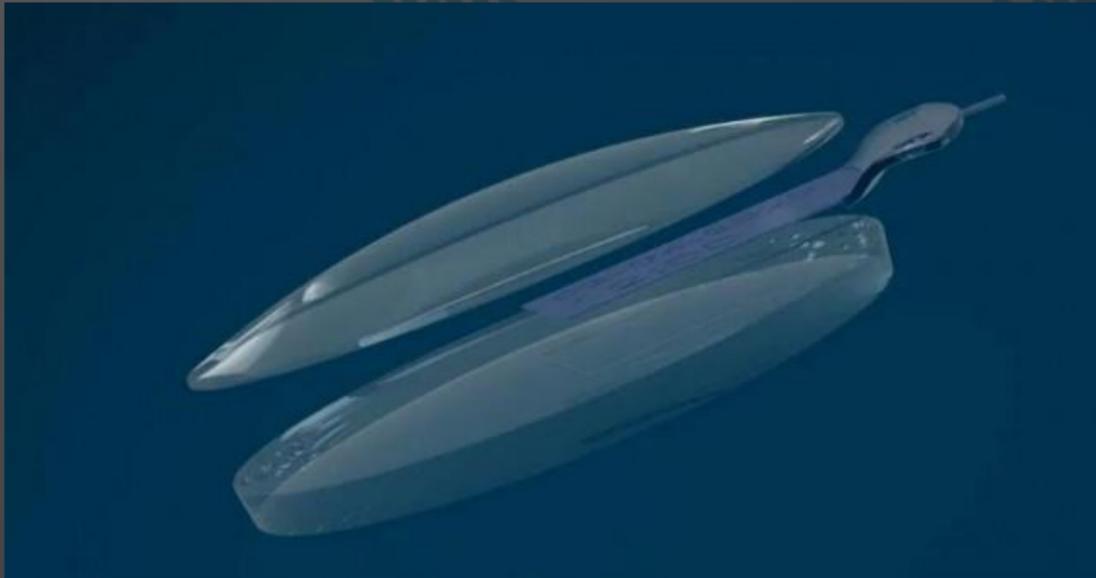
Arevo公司将AQUA材料挤出打印头安装在六轴机器人上，该机器人通过激光加热进入的聚合物或复合材料长丝，并在通过辊进行沉积时压紧加热的细丝。

大尺寸聚合物、玻璃和碳纤维3D打印设备企业CEAD的大型龙门3D打印设备AM Flexbot包括带有Run MyRobot / Direct Control的西门子Sinumerik CNC，Comau机械臂和CEAD的单螺杆挤出机。借助Comau和西门子的控制解决方案，机器人运动学已完全集成到CNC系统中，在复杂的机器人运动中实现所需的精度，从而正确沉积材料并将零件铣削成最终轮廓。



38

超越原型应用的材料喷射工艺

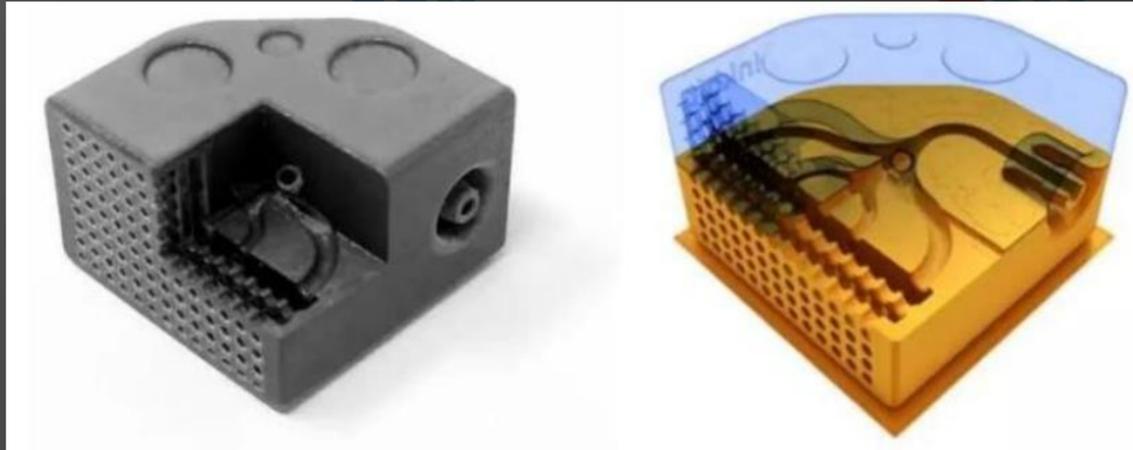


致力于光学镜片3D打印的Luxexcel 公司宣布已为智能眼镜的下一步增长做好准备，通过镜片专用3D打印设备、材料、软件以及光学领域的专业知识，为智能眼镜市场提供镜片生产解决方案。Luxexcel 所指的批量生产解决方案是基于材料喷射3D打印技术的解决方案，包含专有的硬件、材料和软件。3D打印解决方案可以在塑料、玻璃等基体材料上进行3D打印，还可以满足客户的气隙要求。

材料喷射3D打印设备制造商Stratasys 推出了牙科多材料喷射3D打印设备，能够处理5种不同材料。对于软牙龈、刚性材料模型、生物相容性导板等不同材料和性能的牙科数字化应用，用户无需通过多台不同设备制造，或者是同一设备更换不同材料。



39 进化中的多材料喷射技术

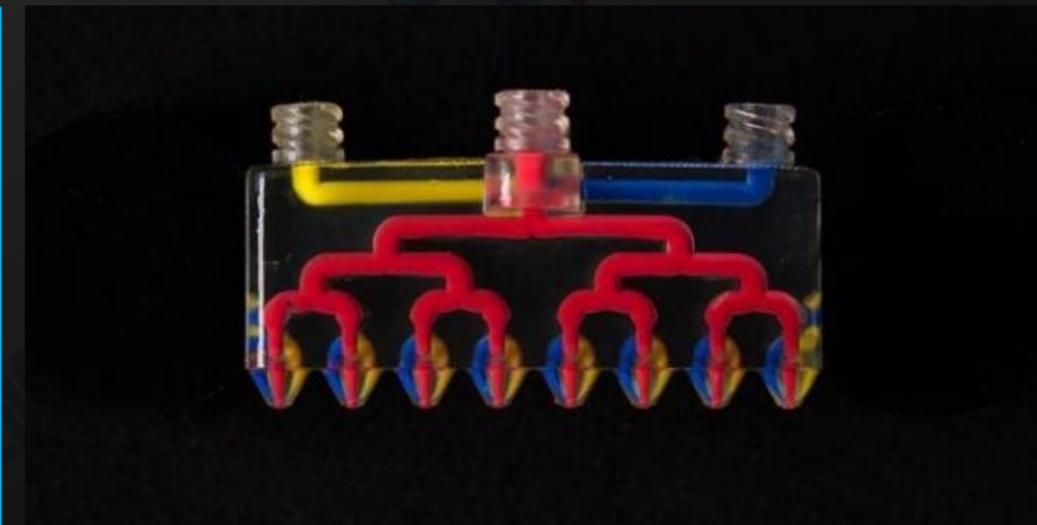


一家诞生于麻省理工学院的创业公司正在开发一种兼顾打印速度、精度和质量的材料喷射3D打印设备。该设备的核心技术是机器视觉和机器学习系统，它们就像3D打印设备的眼睛和大脑，实时监控着打印过程，从而提高这种3D打印技术的打印质量、速度，并扩展可打印材料的范围。

与其他3D打印技术一样，最终在生产中应用的关键是打印材料。Inkbit开发的非接触式材料喷射3D打印技术能够满足很多具有苛刻性能要求的新材料，包括弹性达到800%的弹性体和能够承受高达170°C高温的树脂，以及打印不同软硬度的多材料零部件。

哈佛大学工程与应用科学学院Jennifer A. Lewis教授团队报道了一种多材料3D打印技术（MM3D），其通过在单个喷嘴喷出材料时的快速切换，实现了体素级的多材料功能结构的快速打印，极大的拓展了3D打印在复杂功能结构的制造能力。也就是说，用一个喷头，快速切换打印材料，来实现多材料的精准打印。

这样一来，就可以通过控制材料的精确切换，来打印两种以上的材料。喷头可以进一步增加为4个，同时打印四种材料的结构，最多可以支持8种材料同步打印。



下游 塑料3D打印应用

 3D Science Valley

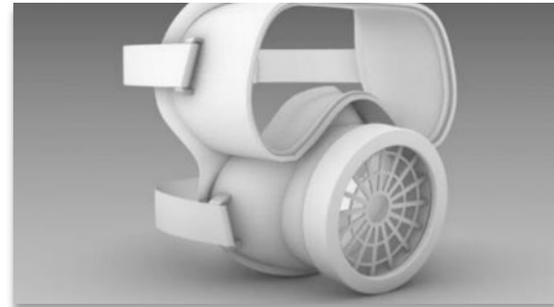
www.3dsciencevalley.com

40 医疗 | 医疗器械零部件按需生产

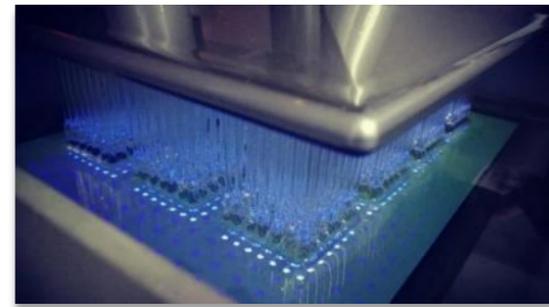
3D打印快速按需生产的能力，在生产新冠疫情所需医疗设备中得到体现



英国GJ塑料公司，通过 Raise3D Pro2 材料挤出工艺3D打印机生产病毒防护面罩组件。



湖南华翔3D 2020年通过3D打印技术生产抗击新冠疫情所需的护目镜。护目镜主体镜框为高分子尼龙材料3D打印成型。个性化设计可精准贴附使用者面部皮肤，大幅提升气密性，减低局部压迫。在达到防护的同时，也能缓解因长时间佩戴而引起的不适感。



新加坡3D打印企业 Structo 通过其高速光固化3D打印机生产新冠病毒检测用的鼻咽拭子（获得FDA 注册），每周产量达100万个。



美国3D打印医疗器械平台-NIH 3D Print Exchange, 将医疗机构与3D打印界联系起来，共同促进3D打印抗疫物资的快速审批、共享与制造。至2020年4月，超过180种3D打印防护医疗设备的零部件设计在该平台中进行共享。

41 医疗 | 数字化齿科 | 椅旁应用

基于光聚合工艺的塑料3D打印技术丰富了齿科椅旁数字化应用

CAD/CAM 切削系统应用

牙体缺损应用

嵌体、高嵌体、全冠、部分冠、桥、贴面...

材料

含氧化铝、氧化镁的全瓷材料、长石质瓷...

种植修复应用

种植体基台、单冠、一体式基台冠、临时修复体...

材料

陶瓷（玻璃陶瓷、氧化锆...）

复合材料（复合树脂、陶瓷-树脂复合材料）

钛基金属材料（椅旁应用较少）



3D打印应用

种植应用

放射导板、种植导板

其他牙体修复应用

临时冠桥、临时贴面、临时嵌体
可摘全口义齿、胶托支架.....

正畸应用

隐形矫正器牙模、托槽粘结导板...

其他应用

磨牙保护器.....

材料

针对各种应用的光敏树脂材料。

42 医疗 | 数字化齿科 | 塑料3D打印技术成为隐形正畸的刚性需求

Workflow from Resin to Models in Less than an Hour



可扩展的隐形正畸牙模高速生产解决方案

Carbon L1 3D打印设备可在35分钟内制造30个正畸牙模。L1 生产解决方案是产能可扩展的解决方案，其目的是能够满足每日数万牙模的生产需求。



满足大批量定制生产需求

SmileDirectClub 通过60台惠普多射流熔融 (MJF) 3D打印设备，每日生产超过5万个定制化隐形矫正器牙模。



隐形正畸全流程解决方案

黑格科技打通隐形矫治器制作流程中的数据收集、模型设计、3D打印前处理流程、牙模生产、压膜、牙龈线切割流程，推出了智能的、灵活的隐形矫治器规模化生产解决方案。该方案可针对诊所及医院、技工所、隐形正畸品牌商进行柔性化的适配。



灵活满足生产需求的桌面型3D打印设备

正畸产品制造商Perfect Finish Ortho 通过9台Formlabs 3D打印设备，进行正畸产品定制化牙科模型生产，每周产量超过700个。

43 航空航天 | 特种工程塑料轻量化3D打印应用举例

航天

中国某航空航天研究院所运用远铸智能的高性能双喷头3D打印设备（基于材料挤出工艺）FUNMAT PRO 410打印立方体卫星进行相关的科学研究试验，该立方体卫星使用两种不同的INTAMSYS PEEK材料（如图黄色与黑色），完成全部打印过程。目前打印样件已经通过了前期的科学研究测试，接下来按照后续计划将在模拟环境下进行下一步的科学研究测试。



航空

航空超轻低压空气系统制造商BWT 通过Stratasys的材料挤出（FDM）3D打印系统和ULTEM 9085 材料制造低压空气系统管道组件，用于替代传统铝金属组件。



44 汽车制造应用

福特
福克斯空气调节系统HVAC的杠杆臂零件
Carbon 数字光合成3D打印技术



兰博基尼
Urus SUV 3D打印风管分体零件
Carbon 数字光合成3D打印技术

其他应用
• 快速原型
• 夹具

福特
3D打印HVAC 管道
惠普MJF 3D打印技术



车窗开闭调节器

车顶行李架

天窗

娱乐系统

空气/温度系统

IP模块

气体支架组件

进气歧管

前车灯

增压空气冷却器

前端模块

冷却系统

电控单元

排放系统

前后保险杠罩壳

动力转向

燃料输送系统

横梁

气囊与充气模块

后视镜附件

其它内饰件

车身结构

后车灯

行李箱罩和
后挡板铰链附件

MINI
3D打印驾驶舱内饰



戴姆勒
3D打印内饰备件
EOS 选区激光烧结3D打印技术



法拉利
225S Vignale Berlinetta老爷车仪
表盘安装配件
Raise3D Pro2 Plus 3D打印设备



MINI
3D打印定制侧窗外饰件



株式会社SANKI
PA-GF 3D打印通风管零件
远铸智能 FFF 3D打印技术



CRP
3D打印车灯外部支撑结构
选区激光烧结技术与玻纤尼龙



日本大发汽车
3D打印汽车“皮肤”
Stratasys FDM 3D打印技术



EDAG 和西门子
3D打印冷却剂分配器
惠普MJF 3D打印技术



裕克施乐与巴斯夫
3D打印汽车座椅部件

45 汽车 | 零件规模化生产概念验证案例

西门子数字工业公司与德国汽车领域的工程公司EDAG合作开发了带有复杂冷却回路的3D打印主动冷却剂分配器，功能是安装在“EDAG SCALEbat”电动汽车电池外壳中，并在充电时有效地散发在快速充电过程和负载循环过程中产生的热量，各个电池模块由集成的阀门控制器通过各种冷却回路主动控制，借助西门子的Siemens CFD拓扑优化软件，与传统设计方法相比，冷却剂分配器将压力损失减少了22%。

由于产品性能获得的明显提升，这款冷却剂分配器如同GE所规模生产的喷油嘴一样，面临着产业化生产的需求。该项目将惠普的工业级HP Jet Fusion 5200 3D打印设备集成到西门子的数字企业解决方案中，可以比以前更快，更经济，更可持续地生产这种冷却剂分配器。而基于高达30万件的规模化生产概念证明了在批量生产中通过3D打印制造零部件的经济可行性。



©EDAG

46 汽车及消费品 | 3D打印点阵晶格部分替代传统泡沫材料案例

裕克施乐生产了具有极强冲击力的美式橄榄球头盔3D打印护垫。设计师通过运动员对保护头盔的性能要求，选择合适的晶格形状，通过精细调整每个支撑杆径的厚度来调整晶格结构的硬度，对十几万个独立的晶格支撑结构进行特别调整，最终实现了晶格结构中内部的阻尼支柱与运动员在运动中所经历的冲击方向相对来吸收和分散能量。



裕克施乐有针对性的细化客户需求，利用晶格设计拥有的独特设计灵活性，达到客户产品所需的功能，性能等要求。晶格设计往往拥有复杂的几何结构，而制造复杂的结构恰好是增材制造技术在工业制造中的竞争优势之一，可以说晶格设计与增材制造的绝妙组合将能给客户的产品带来独特的创新性。

裕克施乐生产的3D打印点阵晶格结构，可作为座椅的中间层材料，这里也是座椅的舒适层。在座椅的不同区域，3D打印晶格胞元的设计有所不同，晶格设计的多样性，使得座椅的不同区域具有不同的功能与性能。座椅舒适层的应用，很好的体现了3D打印晶格结构的性能所具有的高设计灵活性。

裕克施乐 (OECHSLER) 是面向大批量生产的高附加值产品的精益化制造解决方案提供商，在竞争中拥有独特的市场定位，裕克施乐还拥有代表最新技术水平的测量技术，极高水准的质量和环管理。裕克施乐从运动鞋中底的制造切入到了3D打印市场，裕克施乐注重先进技术的创新与研发，在面向增材制造的点阵晶格结构设计与这类结构的增材制造 (3D打印) 批量生产领域走在业界前列。裕克施乐通过位于德国、美国和中国 (太仓) 的生产基地，已经生产了超过250万个3D打印零件，在此基础上，裕克施乐建立了从3D打印产品设计开发，到成品批量生产的增材制造全价值链增值服务。

47 消费品 | 运动防护装置

粉末床工艺



Kupol 3D打印自行车头盔
3D打印技术: MJF
材料: 尼龙粉末
惠普



HEXR 3D打印自行车头盔
3D打印技术: SLS
材料: 尼龙粉末
EOS

光聚合工艺



CCM 3D打印曲棍球头盔内衬
3D打印技术: DLS™
材料: 弹性光敏树脂
Carbon

48 消费品 | 鞋制造应用

间接应用



鞋模

鞋模-看样模、试穿模、鞋楦

3D打印技术：
SLA...

鞋模-翻砂铸造原型

3D打印技术：
SLA

随数字化转型而普及



鞋楦

直接制造



鞋垫、鞋底

鞋垫、中底

3D打印技术：
粉末床-MJF,HSS,SLS
光聚合-DLS,

鞋外底

3D打印技术：
SLS, 3D Drawing...

中小批量定制化生产



鞋面

鞋面

3D打印技术：
材料挤出工艺-FFF
...



整鞋

图片：1. 3D打印鞋模，来源：Materialise；2. 3D打印鞋楦，来源：巴斯夫；3. 批量生产3D打印鞋中底，来源：裕克施乐；4. 3D打印鞋底、鞋面，来源：科思创；5. 万华化学3D打印材料解决方案，包括鞋面、鞋底，来源：万华。

新趋势

49 消费品 | 鞋制造应用 | 鞋中底3D打印材料

不论是通过粉末床工艺增材制造的TPU材料、PA尼龙材料，还是通过液态树脂光聚合工艺制造的EPU材料。耐磨、弹性、抗冲击成为3D打印技术与3D打印材料进入鞋类制造领域的关键考核因素。

从打印材料来看，Lehmann&Voss&Co，科思创和中国企业万华化学等材料制造商在鞋3D打印领域已经形成了一系列材料组合，如科思创推出了Addigy® TPU 线材和粉末。

在鞋中底内芯打印方面，ECCO使用的材料是陶氏化学开发的液体硅橡胶材料。

3D打印材料

弹性体聚氨酯(EPU)树脂

TPU粉末, PA 粉末

液体硅橡胶

3D打印技术

光聚合工艺
(如: Carbon DLS)

粉末床工艺
选区激光烧结技术(SLS)
MJF技术
HSS技术

RepRap液体材料增材制造
(LAM)



50 消费品 | 产品包装 | 从快速原型到小批量生产

3D打印已成为欧莱雅工业4.0 技术的重要组成部分



快速原型



香水外装饰小批量生产

2020年欧莱雅共生产了1万个包装设计原型
在12个小时左右可完成包装原型制造
至2020年，欧莱雅全球23个设计中心均配备了3D打印设备

高端定制版Flowerbomb香水独特包装小批量生产
复杂三维花朵3D打印

51 铸造 | 首饰与牙科应用

塑料3D打印技术在首饰、牙科制造领域的间接应用



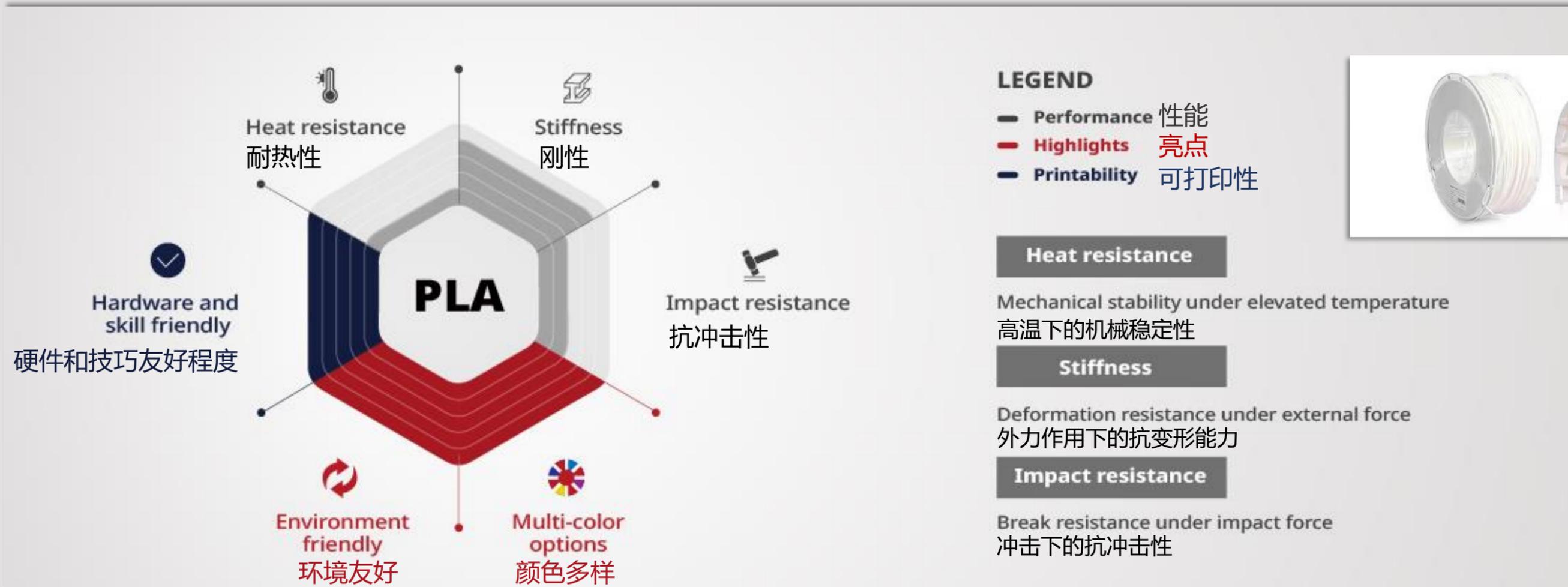
图片：1. 3D打印首饰熔模母模，铸造的金属首饰，来源：Formlabs；2. 3D打印义齿支架熔模母模，铸造的金属支架，来源：先临三维。

常用3D打印塑料线材性能

 3D Science Valley

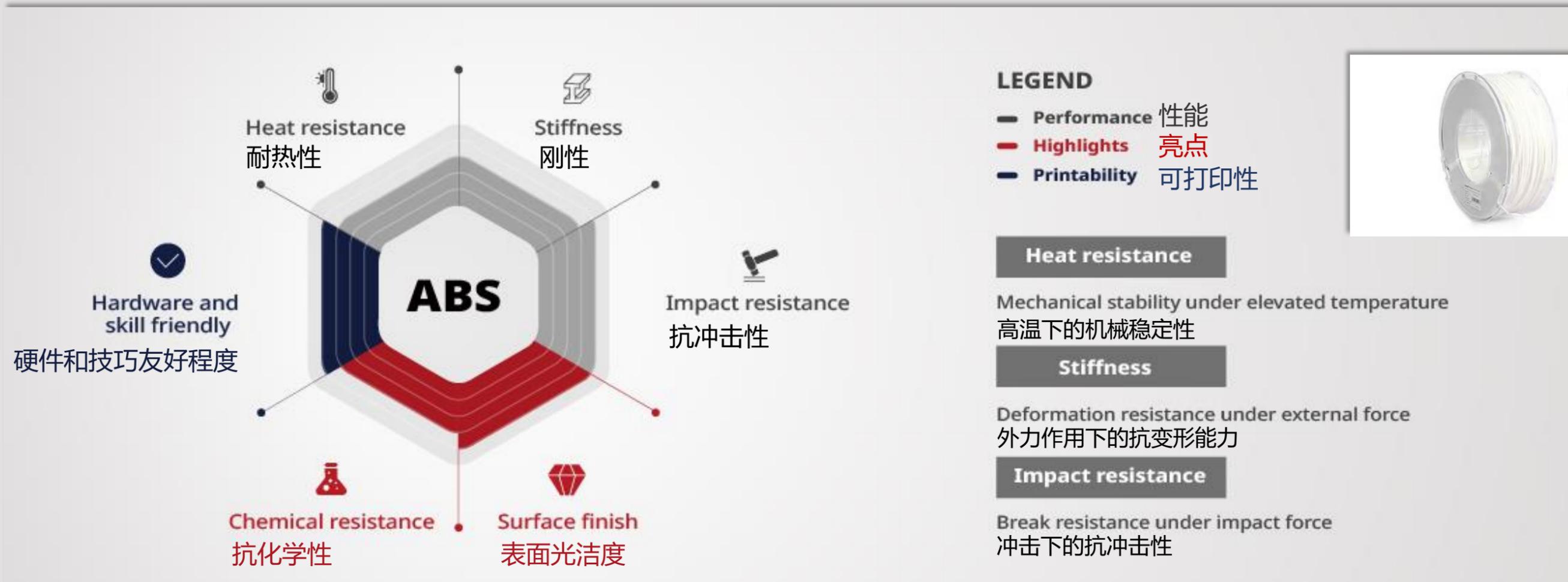
www.3dsciencevalley.com

52 线材熔融挤出 (FFF) 3D打印材料特性 | PLA



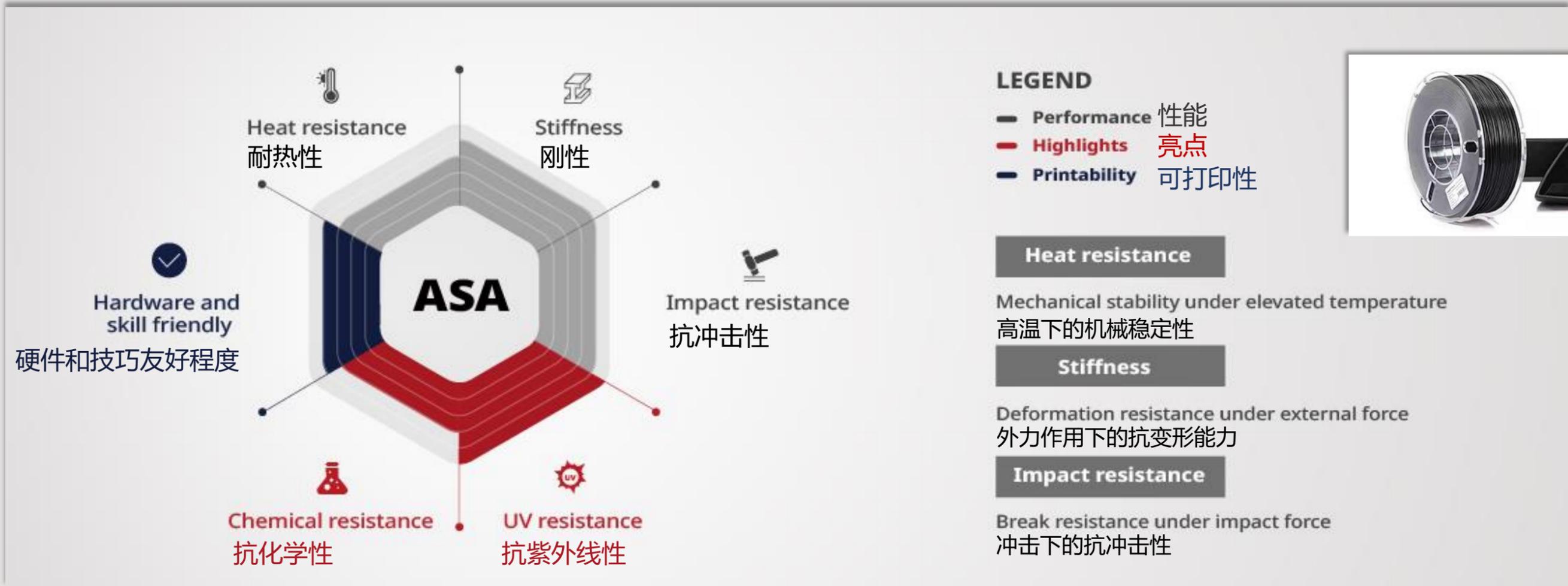
PLA(聚乳酸) 是一种生物基热塑性高分子材料，具有优异的生物可降解性。它因易于打印，价格友好和相对坚固而著称，使其成为市场上最受欢迎的3D打印耗材之一。此外，PLA耗材颜色多样，具有出色的表面光洁度，PLA在打印时会保持其形状且很少翘曲，有时不需要加热底板即可使用。易用性使其成为原型制作以及夹具和固定装置的理想选择，也是打印高精度打印部件和美学细节模型的首选。

53 线材熔融挤出 (FFF) 3D打印材料特性 | ABS



ABS (丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物) 是一种常见的通用热塑性3D打印耗材, 其特点是可靠性, 高硬度, 高强度和优秀的抗冲击性。它还具有较高的尺寸稳定性和一定的耐化学性。ABS打印需要打印台加热到ABS的软化温度 (100°C), 翘曲的抑制和打印成功率才会大大提高。ABS具有的特性使其适用于工程设计, 原型设计, 功能测试, 零件组装等。

54 线材熔融挤出 (FFF) 3D打印材料特性 | ASA



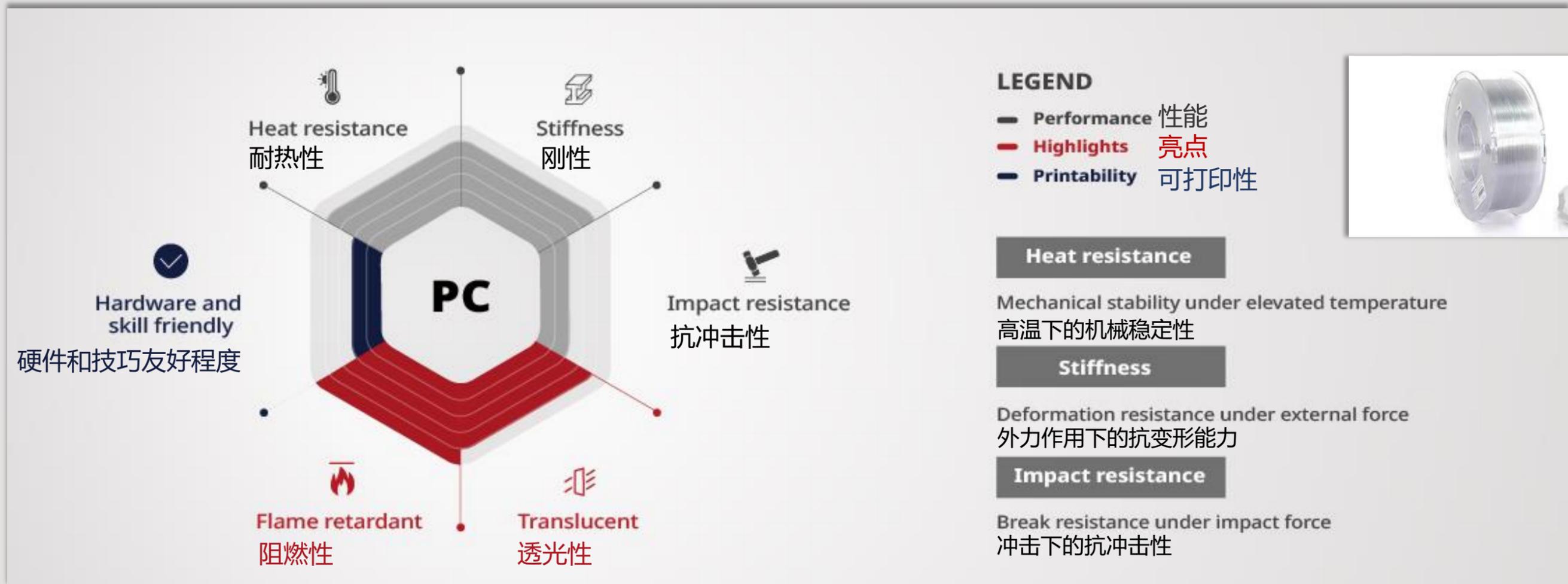
ASA (丙烯腈 - 苯乙烯 - 丙烯酸酯共聚合物) 是ABS的“近亲”，也是一种通用热塑性3D打印耗材，具有与ABS相似的机械性能，打印参数和设置也和ABS相似，但是ASA具有出色的抗紫外线性能，有更加优秀的耐化学性，因此它通常应用于户外产品，户外装配零件，汽车零部件等。

55 线材熔融挤出 (FFF) 3D打印材料特性 | PETG



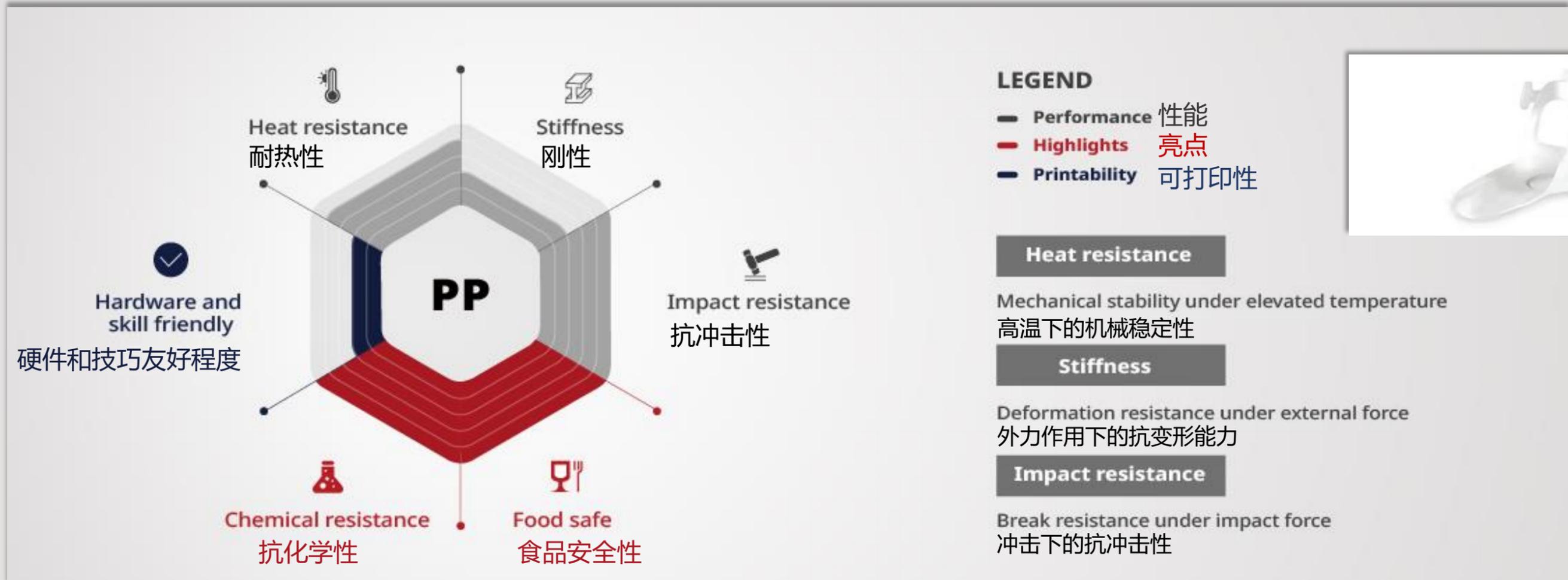
PET-G(聚对苯二甲酸乙二酯)是PET的一种共聚改性体。G代表PET的乙二醇分子链被改性变成共聚高分子，因此PETG具有更高的透明性、耐久性、加工性、抗收缩性、尺寸稳定性和耐化学性。PET-G具有很好的流动性，也不需要非常高的打印底板温度，打印效果和细节非常优异，也可以进行纤维加强，运用非常广泛，例如：工程设计，原型设计，功能测试，零件组装，玩具和装饰品。

56 线材熔融挤出 (FFF) 3D打印材料特性 | PC



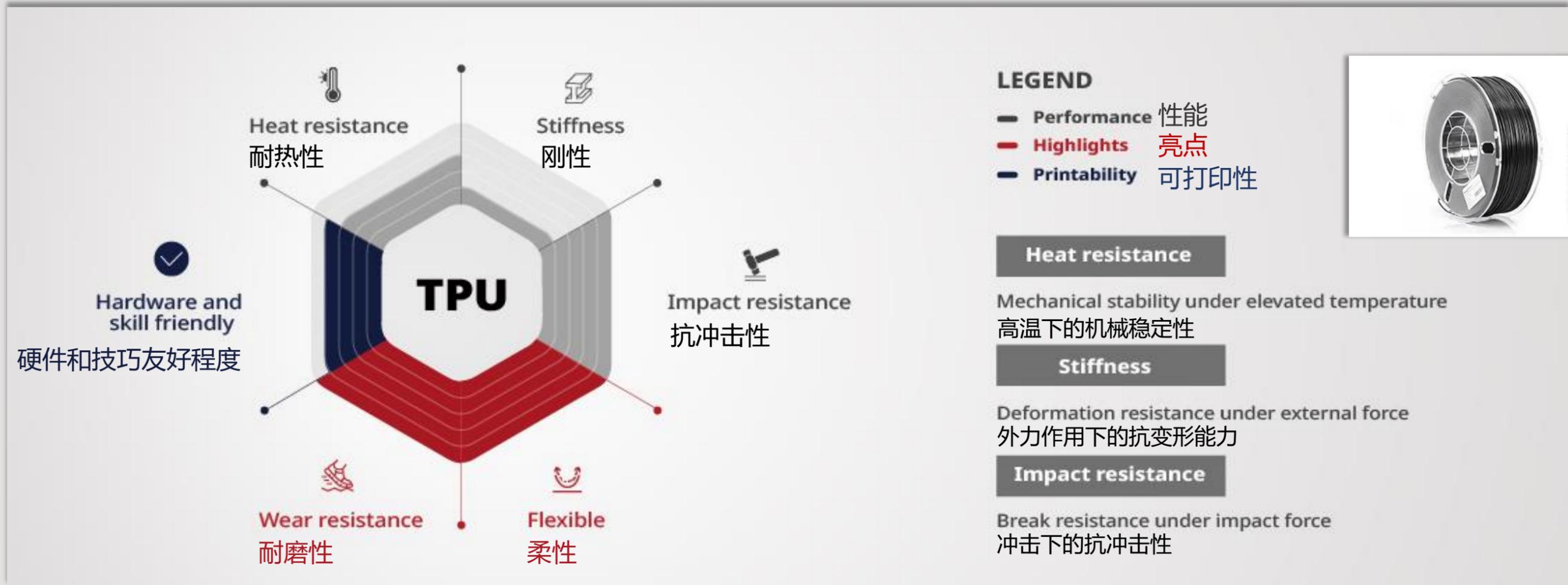
PC (聚碳酸酯) 是一种坚固而且透明的工程热塑性3D打印耗材，其特点是具有高强度，耐热性和阻燃性。PC耗材可以吸收冲击，防止变形或破裂，并在高温（100°C的温度）和火焰下也可以保持尺寸稳定性。由于对打印要求苛刻，PC打印件的抗冲击性与材料热历史和零件设计有关，特别是薄壁类模型需要优化打印参数。PC通常用于生产刚性零件、功能测试、成品零件组装和制造、工装夹具、检具治具。

57 线材熔融挤出 (FFF) 3D打印材料特性 | PP



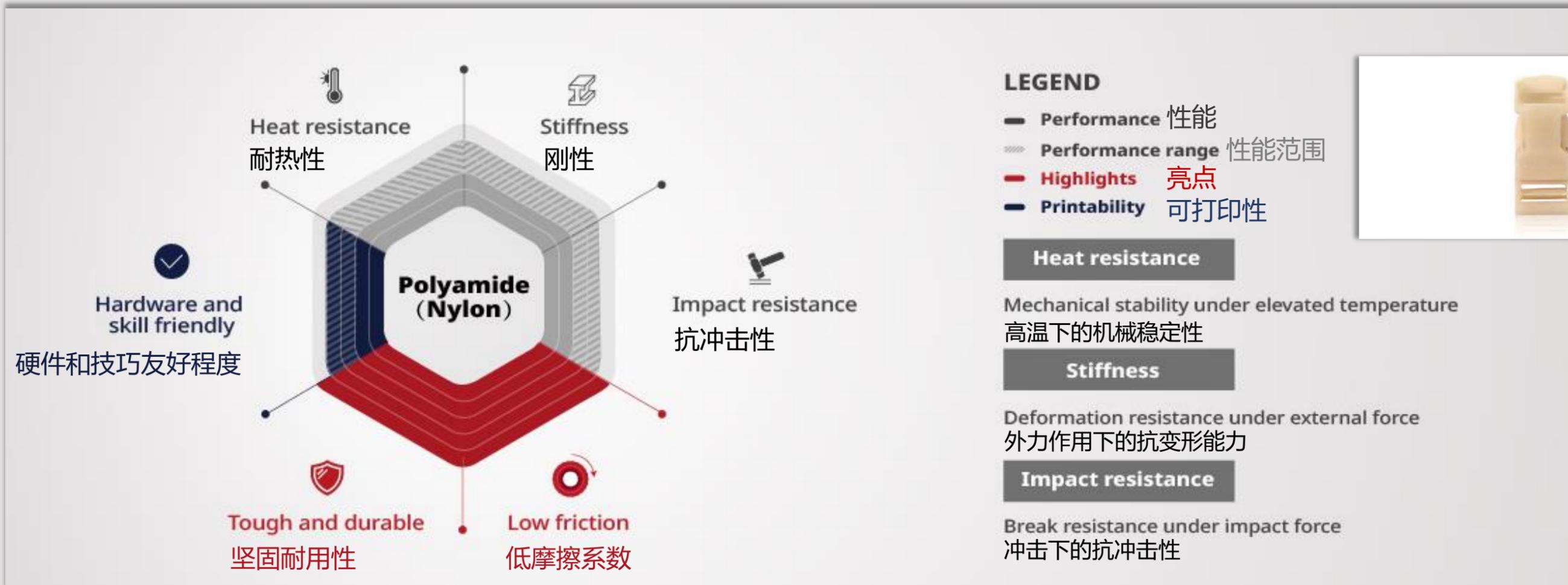
PP (聚丙烯) 是另一种半柔性、强韧的通用3D打印耗材。PP耗材耐折断、耐刮擦、抗疲劳并且非常轻巧，是耐用部件最佳选择。但是，它的弹性模量偏低，因此通常用于打印需要柔韧性的低强度模型。PP还是一种生物接触安全材料，而且可以抵抗几乎所有常见化学溶剂，因此可应用于食品、化学和医疗，例如：脊椎护具、康复辅具等。

58 线材熔融挤出 (FFF) 3D打印材料特性 | TPU



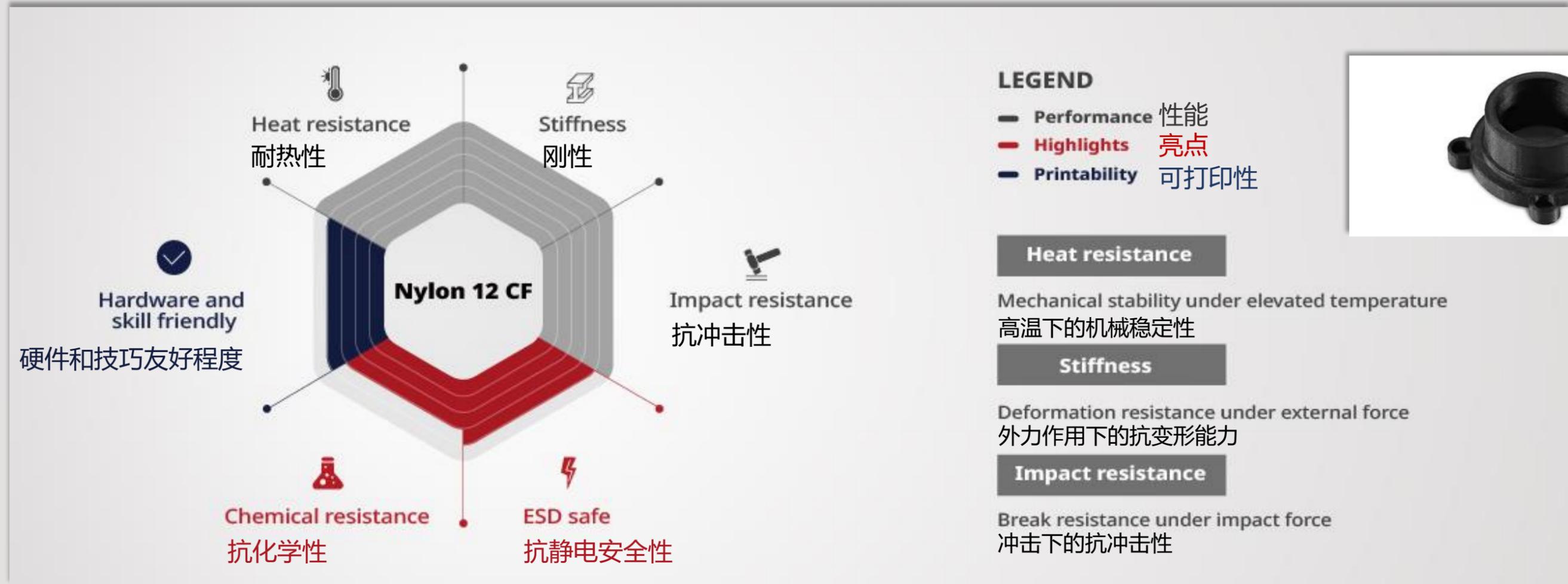
TPU (热塑性聚氨酯) 是一种柔性和有弹性的热塑性3D打印耗材。它具有类似橡胶的弹性，有不同的软硬范围可以选择，并且具有耐磨性和耐油性。TPU易于打印，打印台基本不需要加热，TPU具有良好的柔韧性和弹性，适合打印需要冲击吸收和柔软触感表面的模型，例如管子，密封件，衬套、减震器和可穿戴电子产品，鞋类产品等。

59 线材熔融挤出 (FFF) 3D打印材料特性 | PA



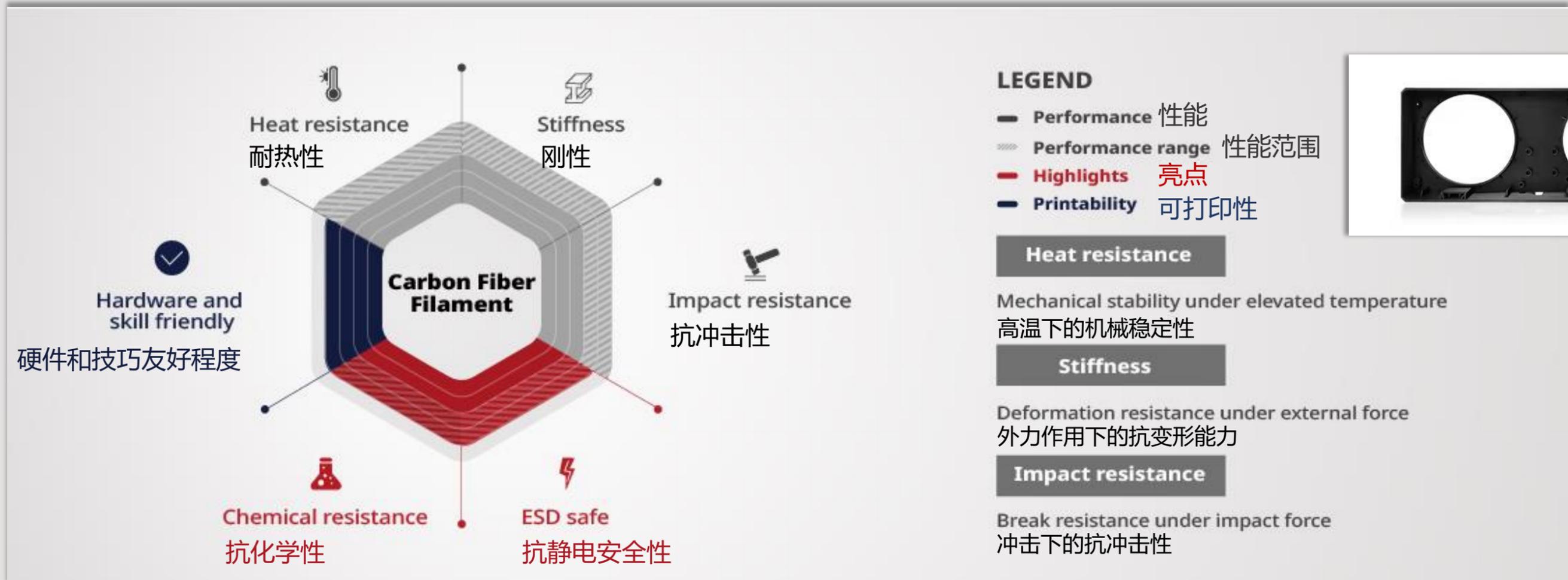
PA (Nylon, 尼龙) 是一种强韧的工程热塑性3D打印耗材。尼龙家族如PA6, PA6,6, PA12等材料兼容刚性、强度、韧性。除此之外, 尼龙还有一定的自润滑和耐磨性。碳纤加强的尼龙具有更强的机械性能和耐温性能。由于尼龙吸水, 打印之前应将材料干燥。尼龙材料适合于工程验证零件、组装零件、连接搭扣、工装夹具、检具治具、手术导板等。

60 线材熔融挤出 (FFF) 3D打印材料特性 | PA12 CF



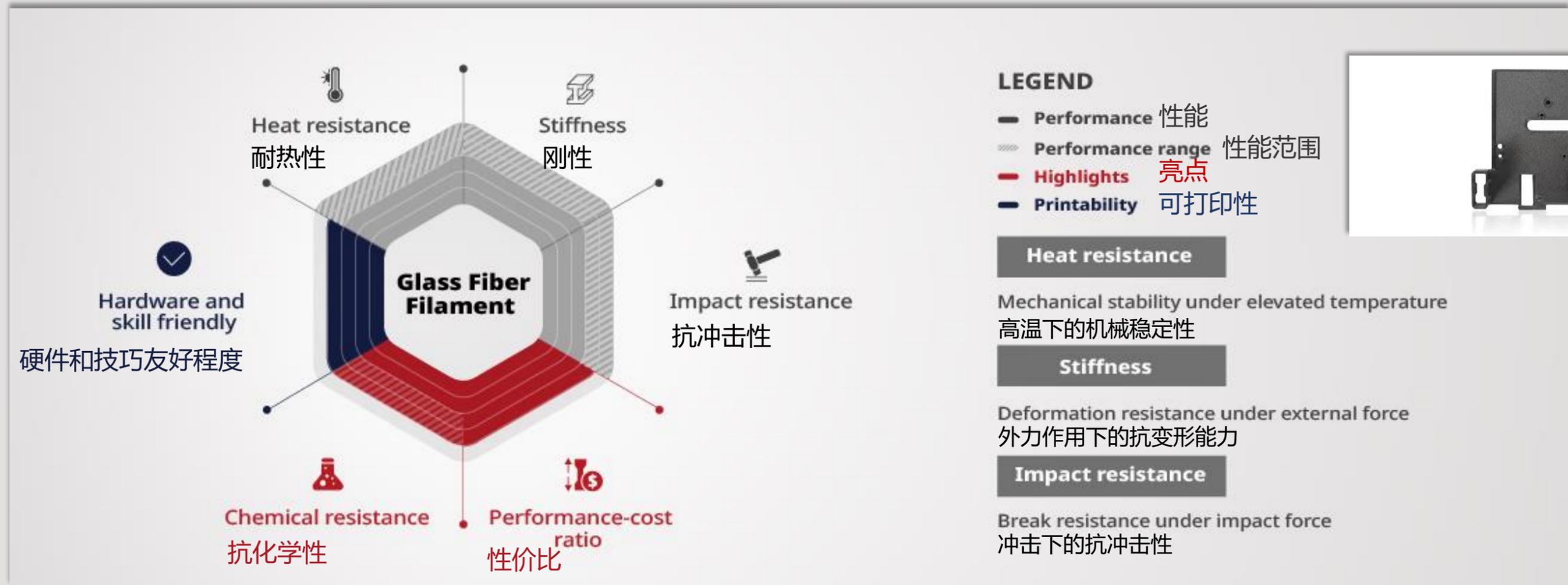
PA12 CF是一种基于聚酰胺12 (尼龙12)的碳纤维短纤增强的3D打印耗材。碳纤维可以增强尼龙的刚度、强度、硬度、收缩率和表面质量，并提高耗材的耐化学性和耐热性。在吸水方面，碳纤加强的PA12具有一定的优势，退火之后，机械性能进一步提升，在某些运用场景中可以替代金属，例如工程验证零件、组装零件、连接搭扣、工装夹具、检具治具、电子元件外壳等。

61 线材熔融挤出 (FFF) 3D打印材料特性 | 碳纤维增强材料



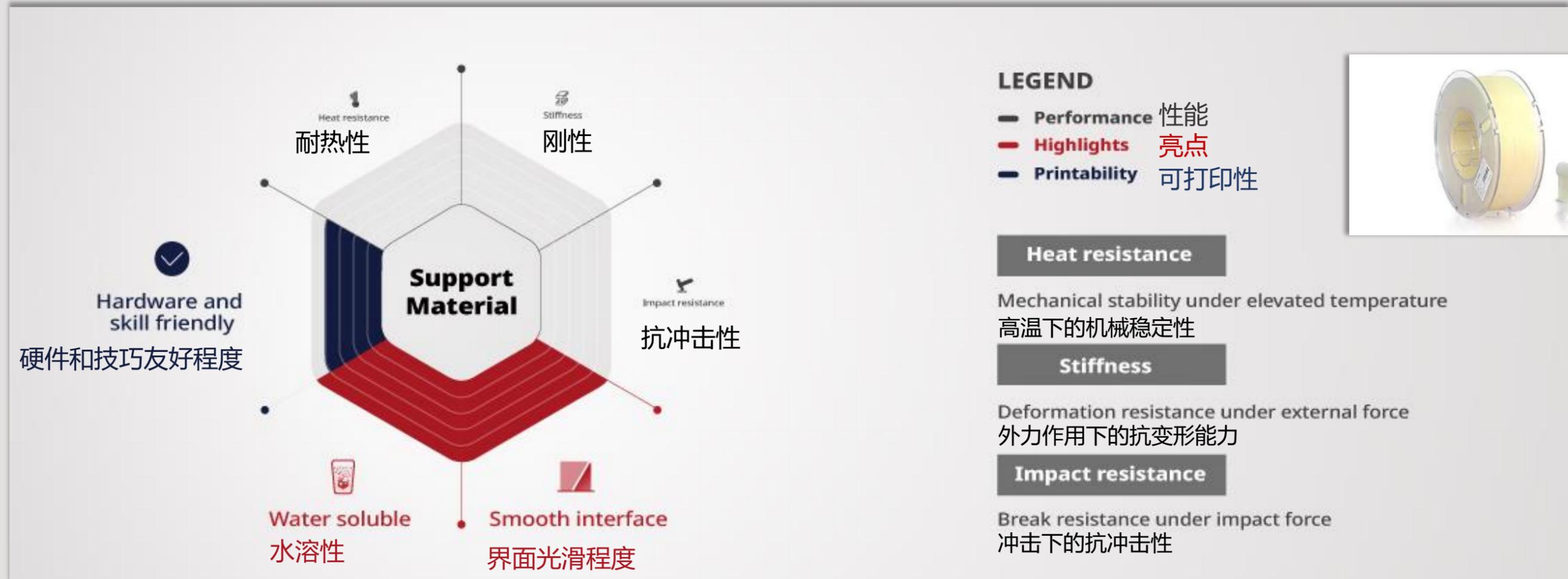
Carbon Fiber Filament (碳纤维增强材料) 是一种碳纤维增强的热塑性3D打印耗材。碳纤维以短纤维的形式加强本体材料 (通常为尼龙或聚丙烯等) 刚性、强度、韧性以及耐温性。除此之外, 碳纤维提高了打印的尺寸稳定性, 抑制了翘曲, 同时也提高了打印件表面的质感, 减少层纹。碳纤维增强材料广泛运用于工程运用零件、组装零件、工装夹具、检具治具、电子元件外壳等。

62 线材熔融挤出 (FFF) 3D打印材料特性 | 玻璃纤维增强材料



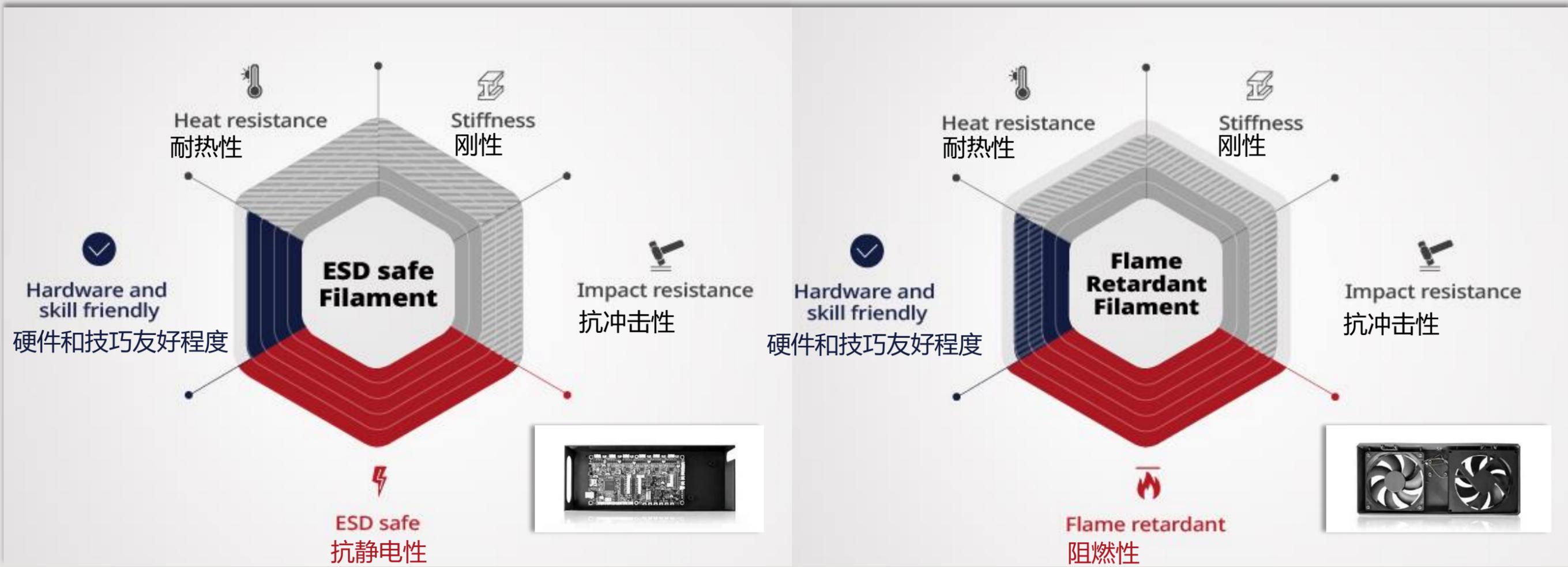
Glass Fiber filament (玻璃纤维增强材料) 是一种玻璃纤维增强的热塑性3D打印耗材。玻璃纤维加强本体材料 (通常为尼龙或聚丙烯等) 刚性、强度、韧性以及耐温性。除此之外, 玻璃纤维提高了打印的尺寸稳定性, 抑制了翘曲, 同时也提高了打印件表面的质感, 减少层纹。对比碳纤, 在相同的运用场景下, 玻纤增强材料可以上色, 而且具有更好的性价比。

63 线材熔融挤出 (FFF) 3D打印材料特性 | 支撑材料



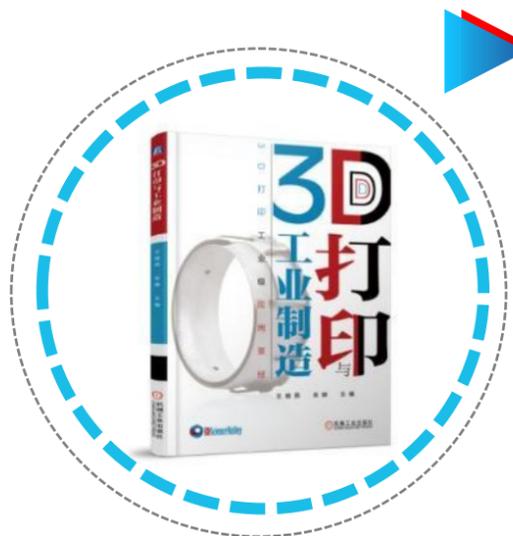
Support material(支撑材料) 是一种辅助成型的3D打印耗材。支撑材料分为溶解性和易拆除支撑材料，用于抵消重力从而辅助悬空和孔穴结构的成型，支撑材料还可以在打印过程中用于增加主体材料和打印底板的粘接能力，有时也会减少打印主体材料的翘曲。在打印结束后，支撑材料将会从主体材料上溶解或者剥离，其剥离或者溶解的难易程度和剥离后界面的光滑程度是衡量支撑材料适合与否的关键。

64 线材熔融挤出 (FFF) 3D打印材料特性 | 特殊用途材料



Special application filament(特殊用途材料) 是一类有特殊用途的3D打印耗材。功能性是3D打印的材料另外一种分类形式，其多样的特性如抗菌，防火，抗静电，X-ray可探测，奇幻的视觉效果都可以让材料在实现柔性制造的基础上增加更多的功能性，赋予材料更多的运用场景。

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



特别感谢对本白皮书制作的赞助支持：

▶ Raise3D
官方认证FFF线材库 (OFP)



▶ OECHESLER
增材制造全价值链增值服务



免责声明

- 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。