



3D打印与液压行业白皮书第三版



3D科学谷白皮书系列 ID: 3DSV20220329

前言

更轻、更集成、免焊接的液压零件！

3D打印在液压歧管以及液压阀芯的制造方面具有独特的优势。主要应用的3D打印技术有选区激光熔化金属3D打印技术，粘结剂喷射金属3D打印技术。

采用传统方式制造液压阀时，首先要从一个金属块开始，通过传统制造方法将金属块修整为所需外形，然后钻出供液压流体流通的内部管路。而想要精确地钻出这些管路非常困难，管路需要在特定点准确交汇，但在一些“盲”钻位置上，管路时常无法精确对准。此外，钻洞时需要开工艺孔并在最后加以密封，这就导致组件有可能在工艺孔的位置发生泄漏。传统液压阀块为规则的长方体块状结构，而3D打印液压歧管带给人的最直观印象是不再是规则的阀块，而是一组具有不规则形状的“管道”。经过设计优化的3D打印液压歧管，将显著减轻重量，提高流体流动效率。

当使用传统铸造+CNC机加工制造方法生产时，液压阀芯通常必须由多个机加工部件组装而成。由于需要多个零件组成，制造过程要研究零件加工的每一工序，以确保同轴度、圆跳动和圆柱度的要求，保证零件的合格率。借助3D打印技术，每个液压阀芯都可以作为单个零件而不是多个组件进行整合和打印，由于无需用户输入即可一次打印数千个，从而降低装配劳动力成本。

3D科学谷在第三版《3D打印与液压行业白皮书》中，结合液压传动市场，剖析了3D打印技术在其中的应用优势，揭示3D打印技术在这一细分领域的应用发展趋势。

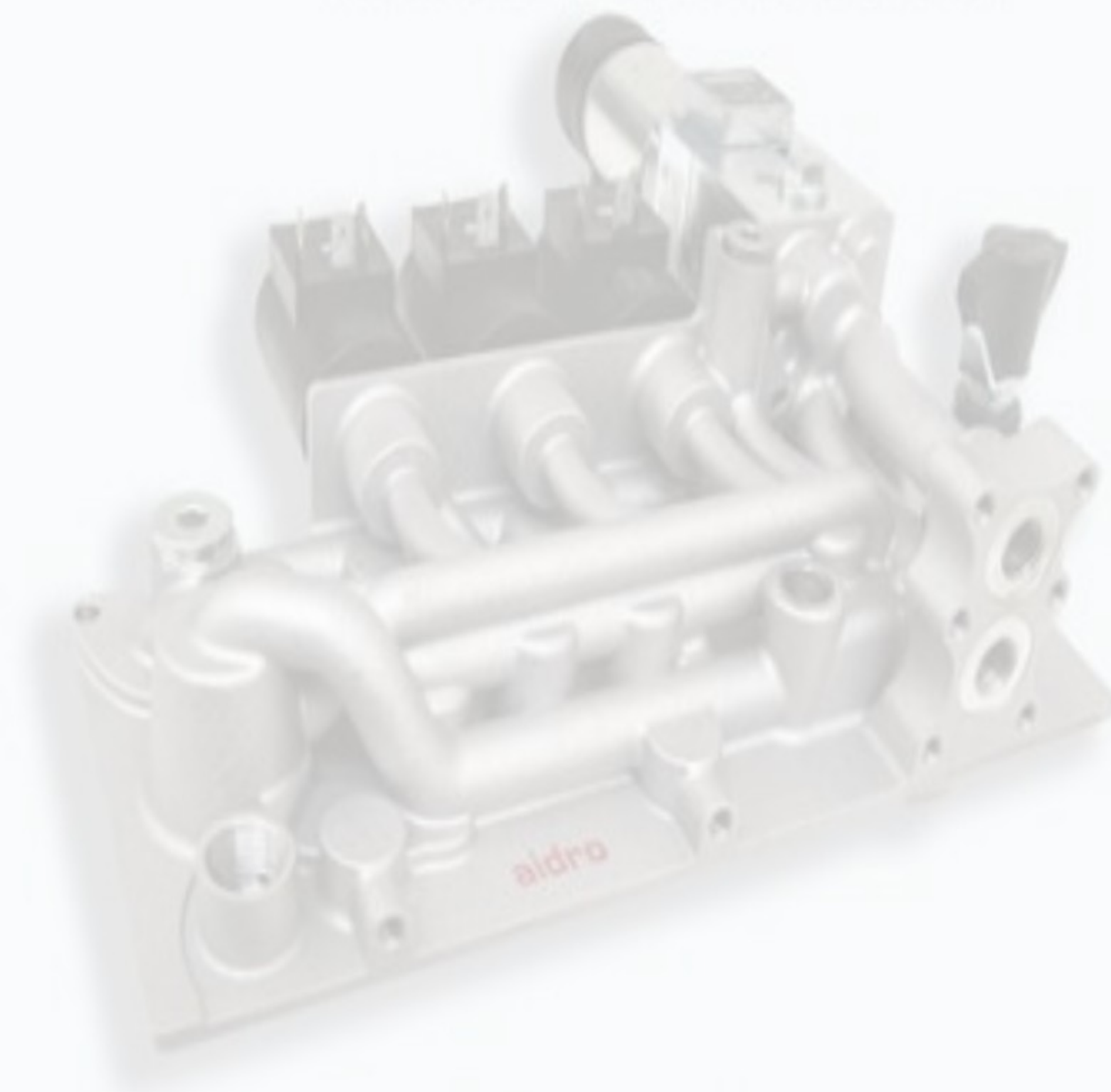
更多信息请访问：www.3dsciencevalley.com

Traditional manifold



5 kg

Metal 3D-printed manifold



1.3 kg (74% reduction)

市场洞察

液压传动和气压传动称为流体传动，是根据17世纪帕斯卡提出的液体静压力传动原理而发展起来的一门新兴技术。

液压传动发展历程

1795年

1795年英国约瑟夫·布拉曼(Joseph Braman, 1749-1814)，在伦敦用水作为工作介质，以水压机的形式将其应用于工业上，诞生了世界上第一台水压机，并在1905年将工作介质水改为了油，液压传动开始得到广泛应用。

20世纪初

20世纪初，康斯坦丁·尼斯克对能量波动传递的理论及实际研究，1925年维克斯(F. Vickers)发明了压力平衡式叶片泵，为近代液压元件工业或液压传动的逐步建立奠定了基础。

二战期间

第二次世界大战(1941-1945)期间，美国30%的机床应用了液压传动。应该指出，1955年，日本迅速发展液压传动，1956年成立了“液压工业会”。日本液压传动的发展较欧美等国家晚了近20多年之后，得以迅速发展，居世界领先地位。

液压传动的构成

液压传动

以流体（液压油液）为工作介质进行能量传递和控制的一种传动方式。他们通过各种元件组成不同功能的基本回路，再由若干基本回路有机地组合成具有一定控制功能的传动系统。

01

动力元件：

将原动机的机械能转换为液体的压力能

02

执行元件：

液压缸和液压马达是将压力能转换为机械能，驱动负载作直线往复运动或回转运动

03

控制元件：

溢流阀、减压阀、顺序阀等用以控制和调节液体的压力、流量和方向

04

辅助元件：

冷却器、加热器、蓄能器、油管、管接头、快换接头等

05

工作介质：

液压油等

液压传动的应用领域

01

工程机械：

挖掘机、泵车、推土机等主机产品

02

通用机械：

塑料处理机械，自动化生产线，机床工具，造纸行业，装载，破碎，纺织机械，研发设备和机器人系统等

03

汽车领域：

商用车辆的刹车、减震、转向系统、挡风系统等

04

运输设备：

物料搬运设备，隧道掘进设备，铁路设备等

05

航空航天：

飞机、火箭等宇航系统方向舵控制系统，飞机起落架控制、飞行控制和传输系统等

4

液压传动的优势

在目前四大类传动方式(机械、电气、液压和气压)中，液压传动具有下述极其明显的优点：

结构

其单位重量的输出功率和单位尺寸输出功率在四类传动方式中表现突出，力矩惯量比大，在传递相同功率的情况下，液压传动装置的体积小、重量轻、惯性小、结构紧凑、布局灵活。

工作性能

速度、扭矩、功率均可无级调节，动作响应性快，能迅速换向和变速，调速范围宽，动作快速性好，控制、调节比较简单，操纵比较方便、省力，便于与电气控制相配合。

使用维护

元件的自润滑性好，易实现过载保护与保压，安全可靠；元件易于实现系列化、标准化、通用化。

可靠性

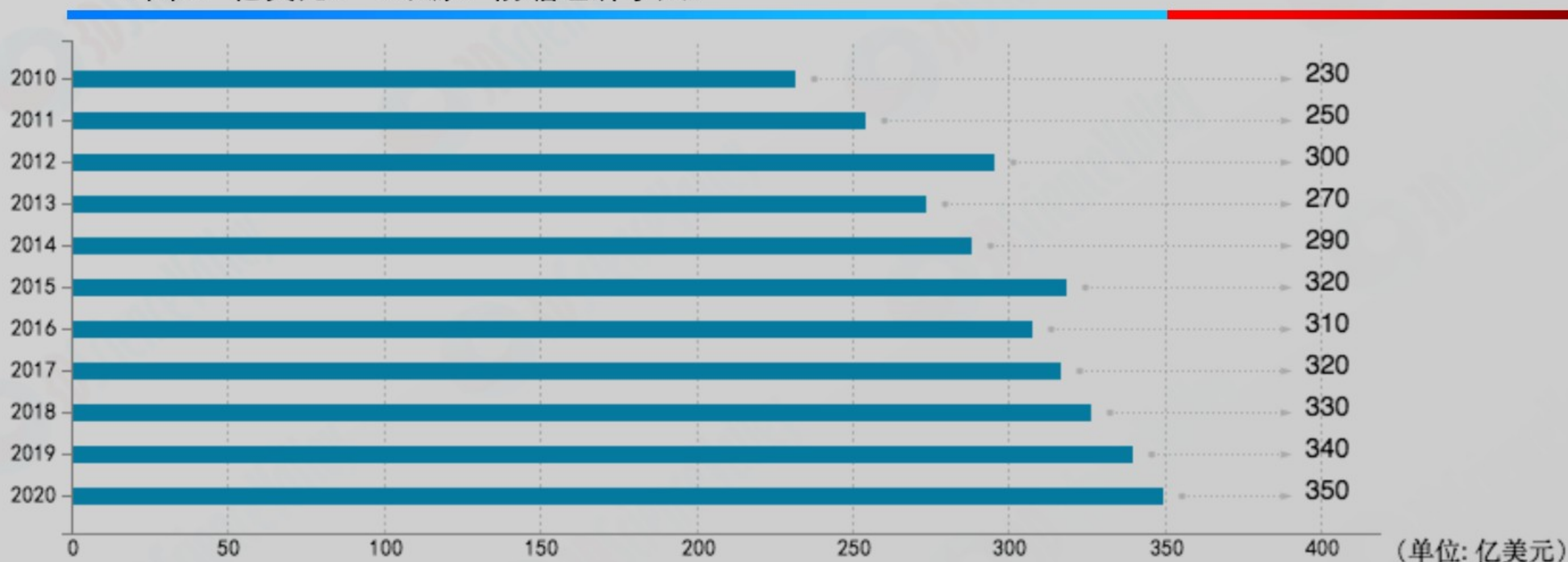
所有采用液压技术的设备安全可靠性好。

柔性生产

液压技术的可塑性和可变性很强，可以增加柔性生产的柔度，容易对生产程序进行改变和调整，液压元件相对说来制造成本也不高，适应性比较强。

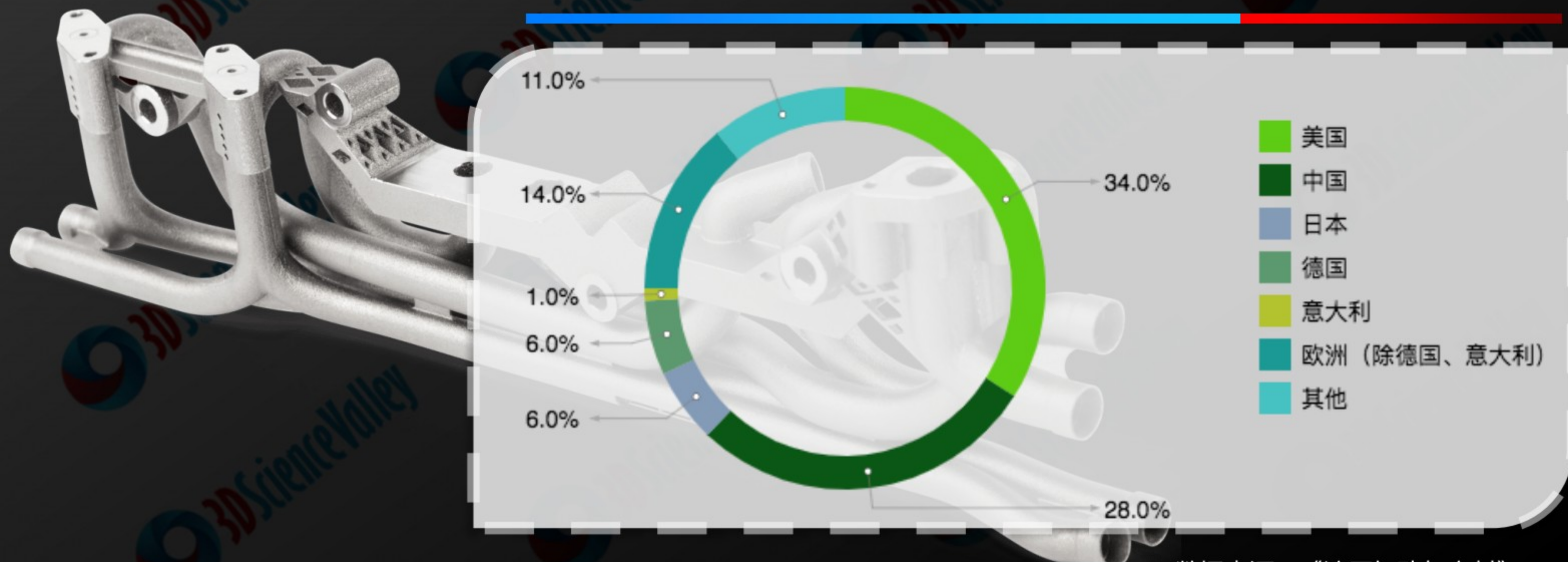
《液压气动与密封》披露的估测数据，2010-2020年全球液压、气压动力机械及元件制造行业市场规模波动增长，年复合增长率为4.2%。2020年，全球液压、气动动力机械及元件制造市场规模约为349亿美元。

2010-2020年全球液压、气压动力机械及元件制造行业市场规模
(单位: 亿美元) (来源: 前瞻经济学人)



美国、中国、德国、日本、意大利分别为液压动力机械及元件产品全球前五大消费国。作为全球第二大经济体和第一大制造业国家，我国液压动力机械及元件制造行业市场规模占全球的28%，仅略低于美国的34%，远高于日本和德国等发达国家。

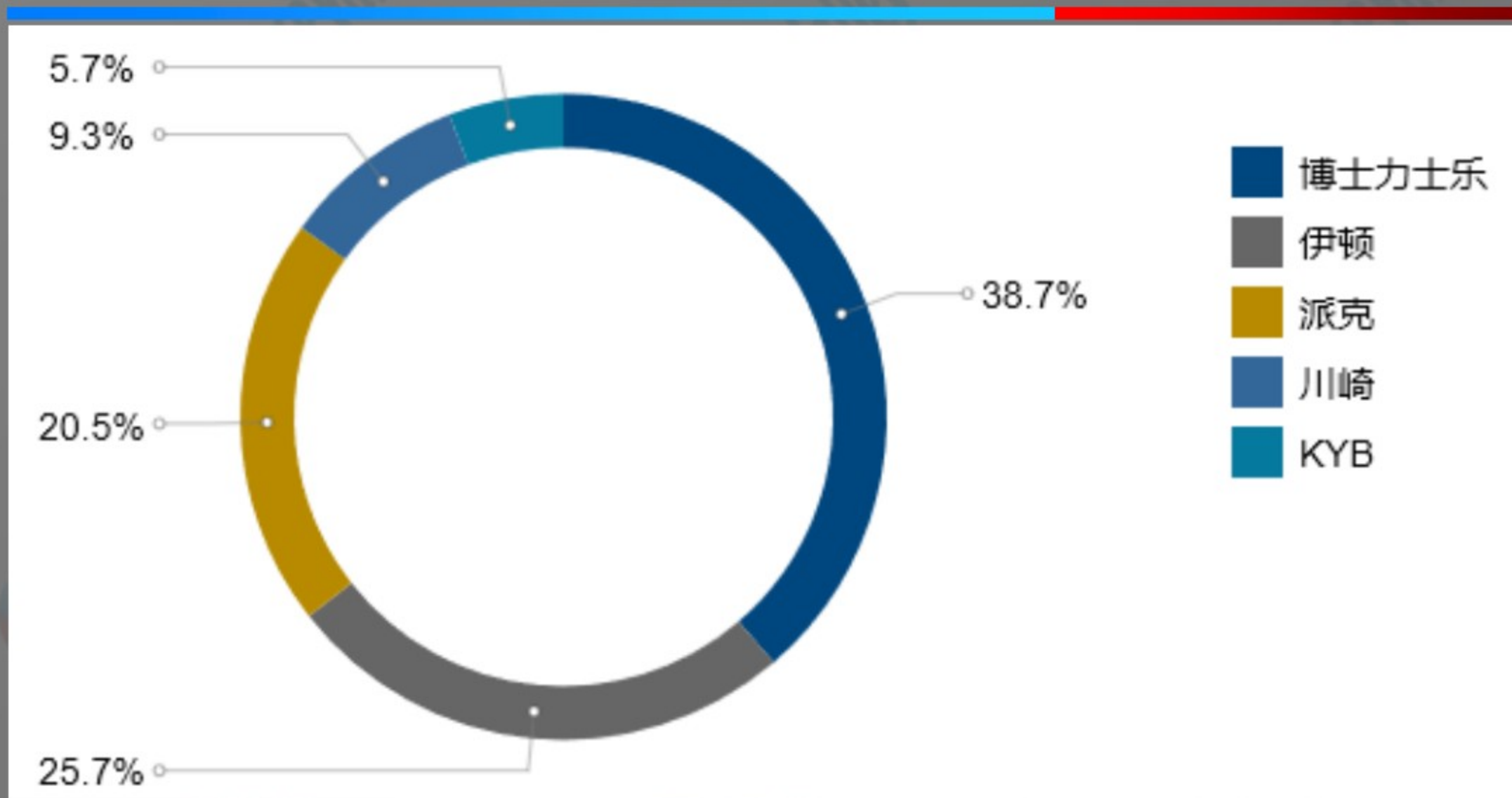
全球液压动力机械及元件制造区域结构



数据来源：《液压气动与密封》

德国博世力士乐、美国伊顿、美国派克汉尼汾、日本川崎重工作为世界精密液压领域巨头，掌握着世界上最先进的液压制造技术。美国泰科是世界上最大的阀门、执行机构和相关流体控制产品的生产商。

全球主要液压品牌

 **BOSCH****EATON** **川崎重工****KYB**

《液压气动与密封》披露的估测数据，2010-2020年全球液压、气压动力机械及元件制造行业市场规模波动增长，年复合增长率为4.2%。2020年，全球液压、气动动力机械及元件制造市场规模约为349亿美元。我国液压件产业主要集中在山东、浙江、江苏等地区。

国内主要的液压生产企业有：

609所、恒立液压、艾迪液压、赛克思液压、大港意宁、苏强格液压、隆源液压、华德液压、圣邦液压、海特克液压、力龙液压、黎明液压、泊姆克、榆次液压、恒通液压、高宇液压、岛津液压、枫阳液压等。

主机液压企业：

柳工液压、徐工液压件、三一、中船重工、中航力源等。

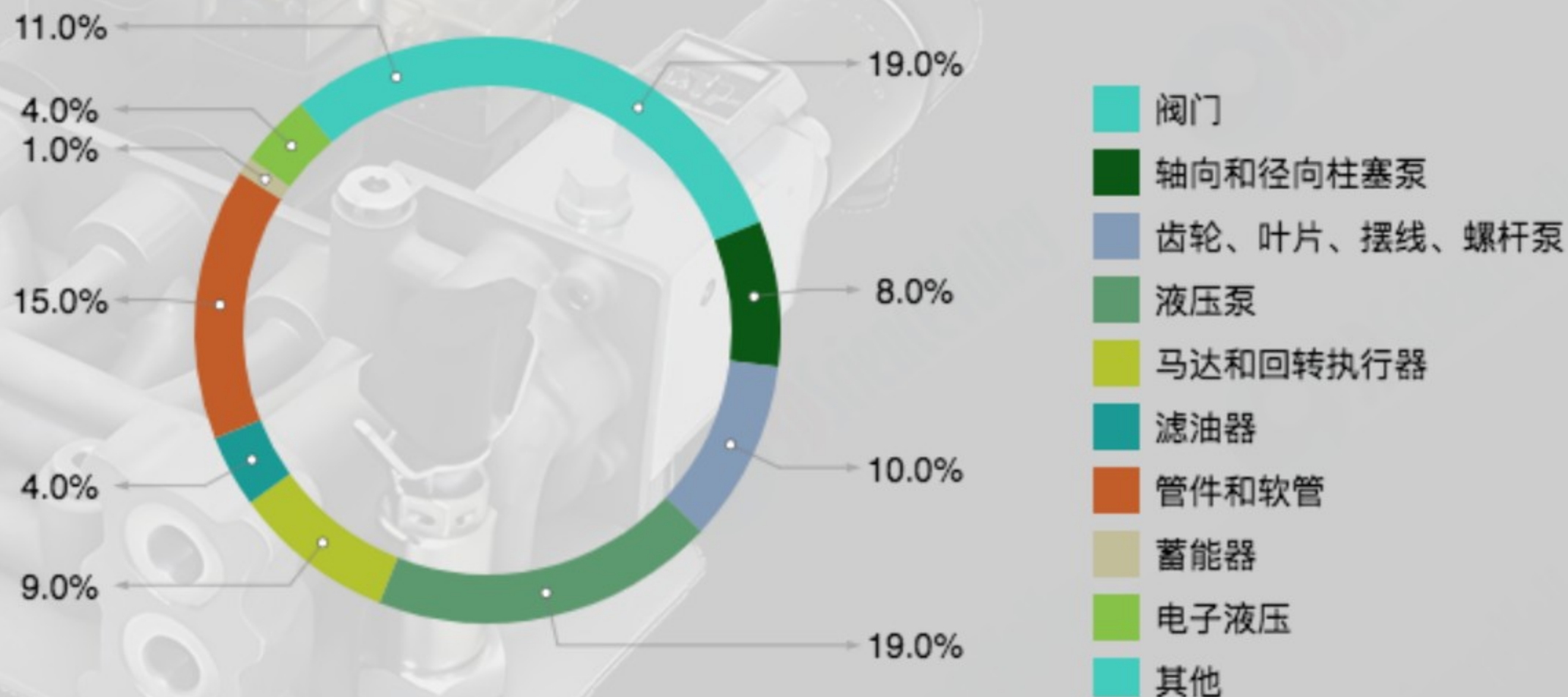
3D打印技术

阀门

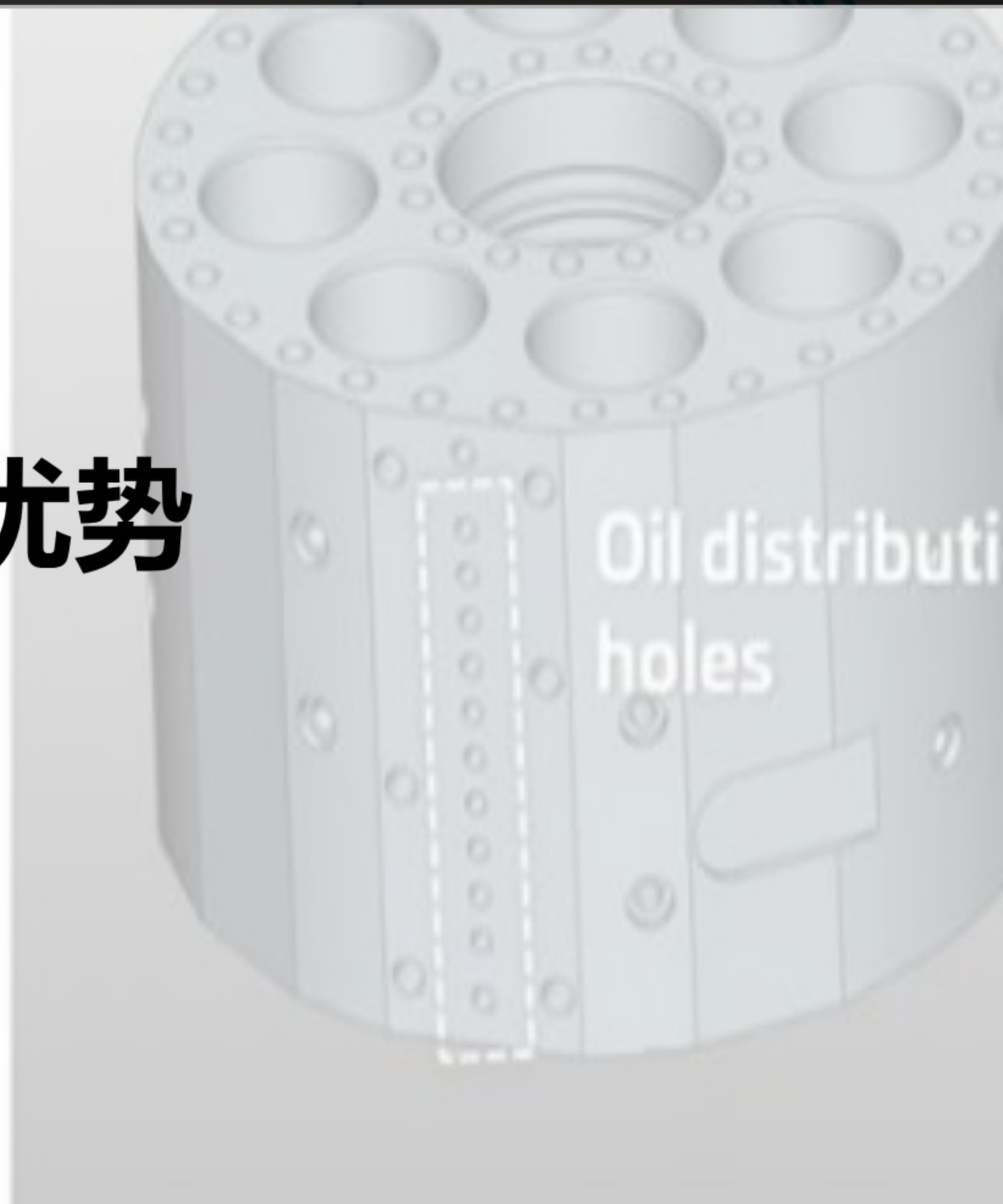
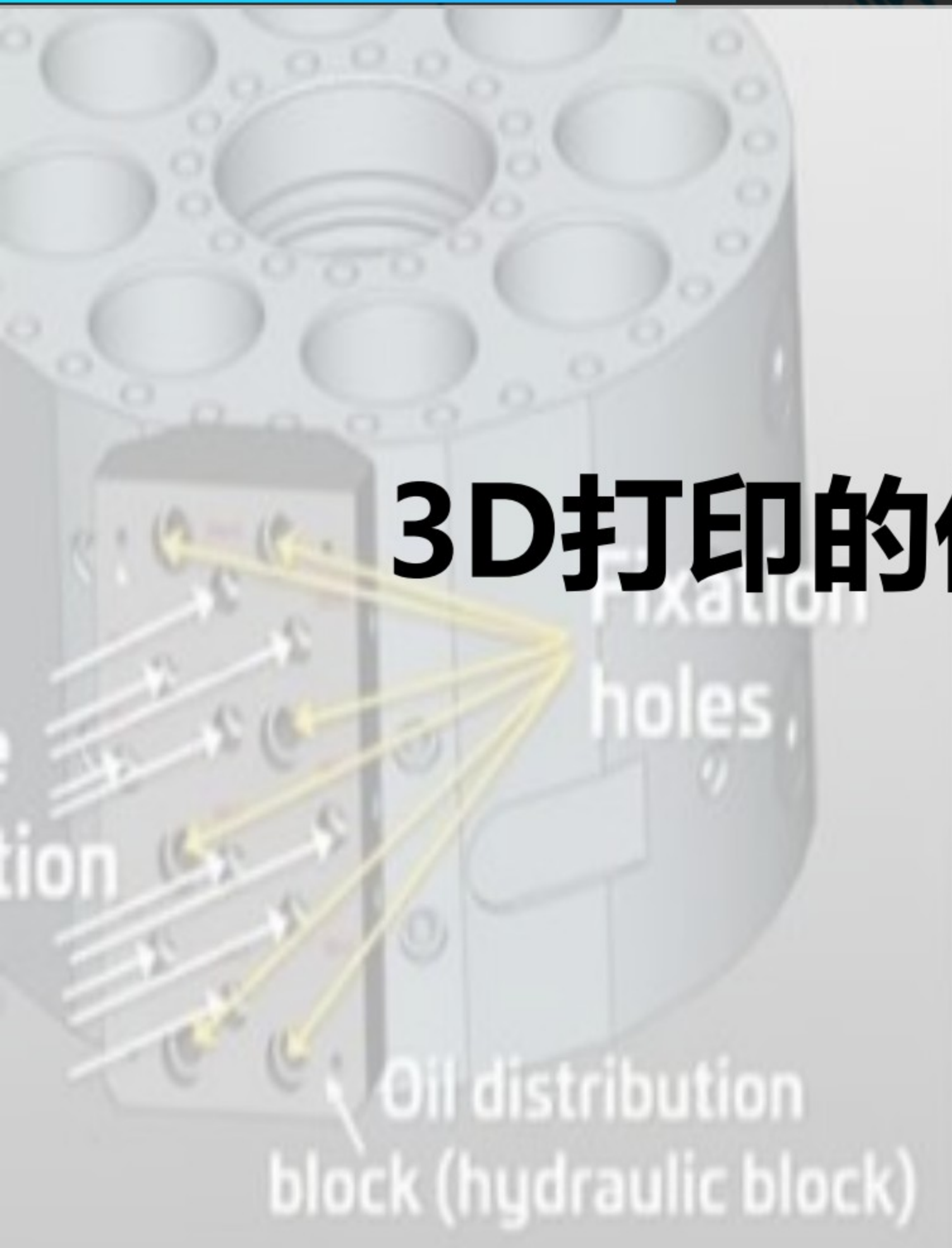
阀芯

柱塞泵

液压产品销售构成



3D打印的优势



10

3D打印在液压领域应用的五大优势

重量减轻

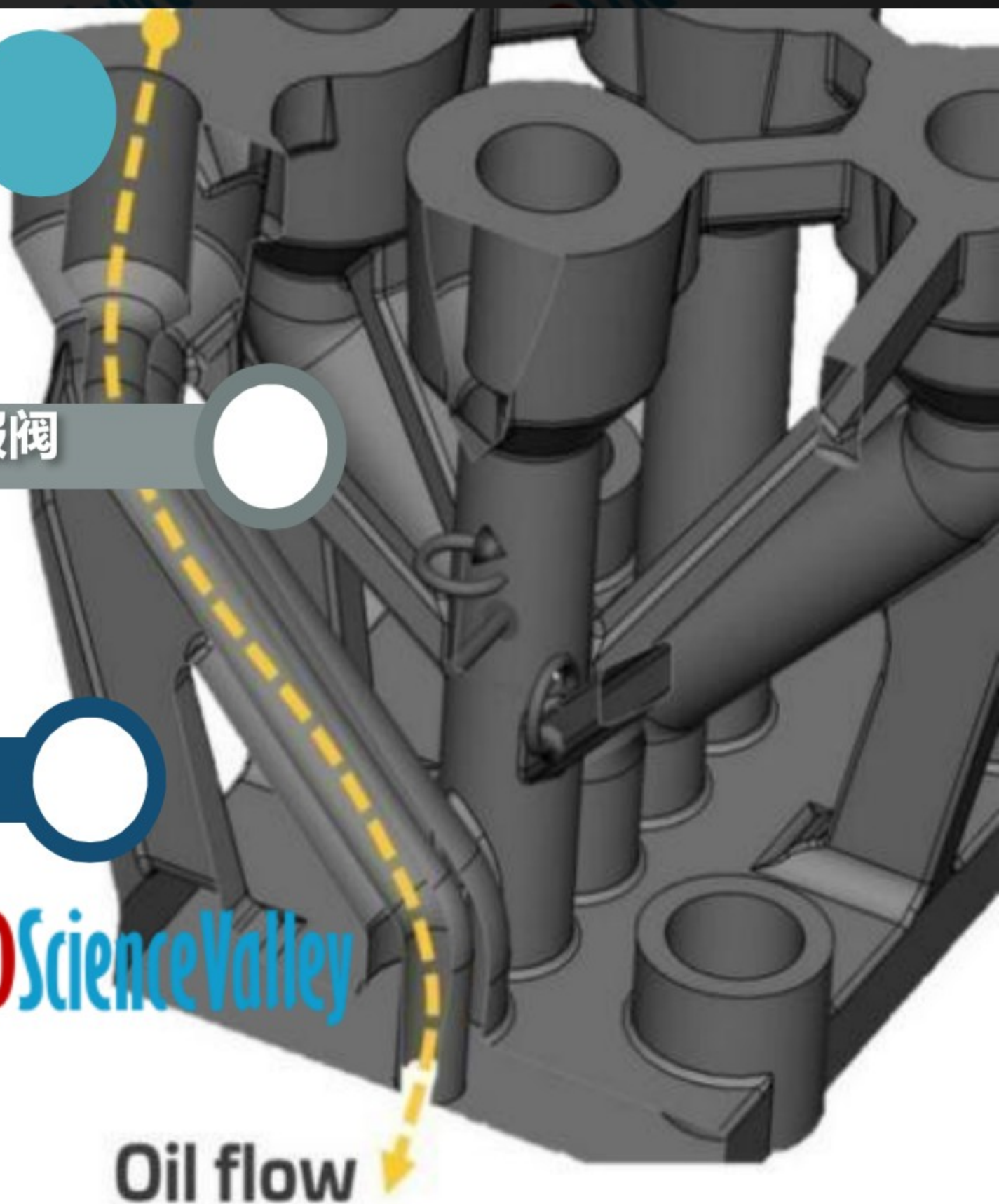
提高流动效率

避免污垢损坏伺服阀

可靠，泄漏风险小

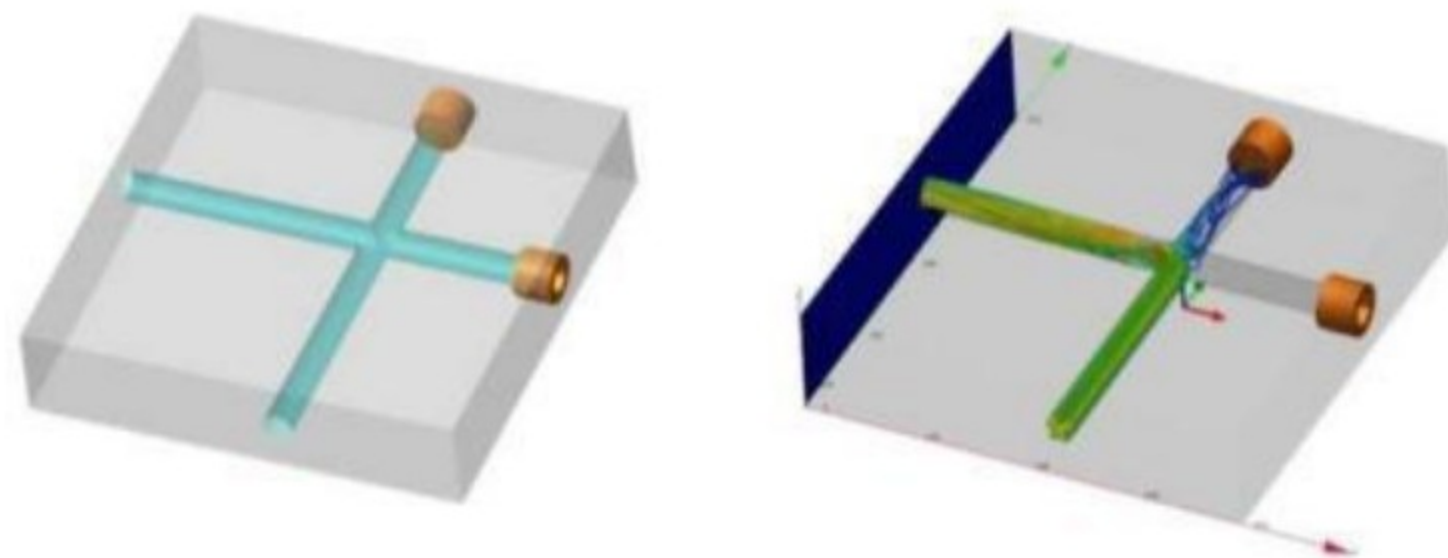
无模具、可快速迭代

增材制造推动液压系统进化的五大优势

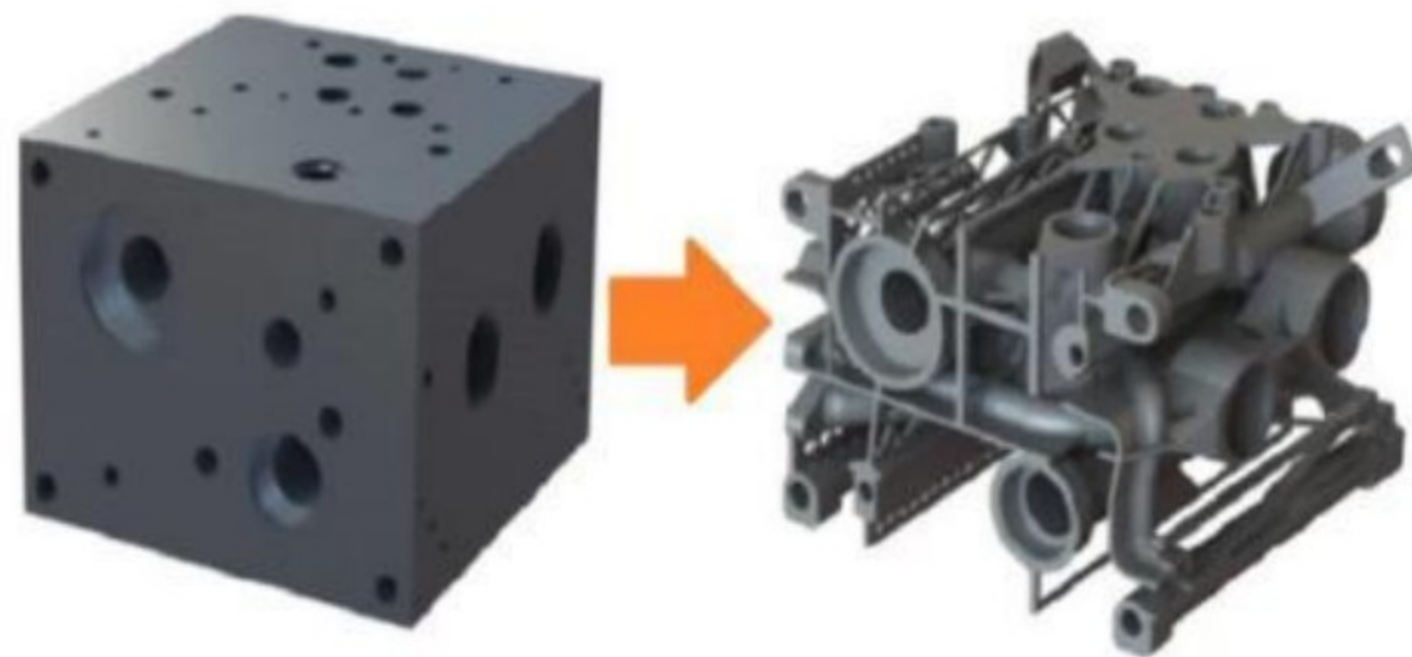


液压歧管是用于引导液压系统连接阀、泵和传动机构内的液体流动。它使得设计工程师可以将对液压回路的控制集成在一个紧凑的单元内。通过传统的加工技术制造液压歧管，首先要切割和加工铝合金或不锈钢坯料，使其达到规定的尺寸，之后进行钻孔以形成液体流动通道。由于要完成复杂钻孔，因此通常会用到特殊工具。通道内还需要一些堵塞头，以正确引导液体在系统内的流动路线。

传统制造工艺固有的局限性会导致相邻流动通道之间形成突兀的拐角，造成液体流动不畅和/或停滞，这是效率损失的一个重要原因。从流体力学的角度来看，传统方式加工的液压歧管在设计上存在许多有待改进的空间，这正是3D打印技术可以发挥作用之处。



图：传统钻孔和添加堵塞头的方法

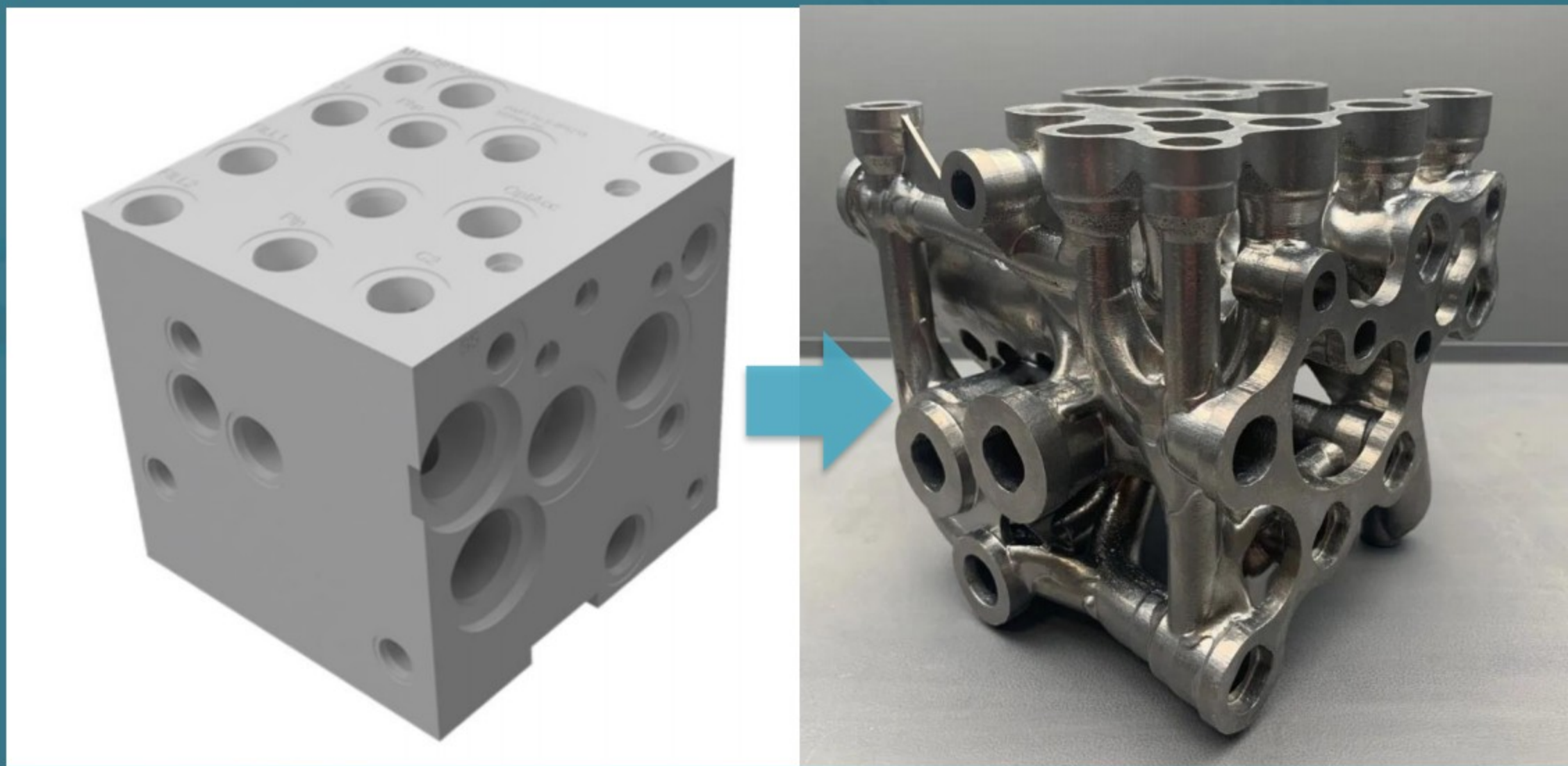


图：传统加工方式加工的阀块（左） 3D打印的液压系统（右）

12 3D打印的优势

基于3D打印技术重新设计液压歧管价值体现在两个方面，一方面是重量得到减轻，使用的制造材料相应减少。另一方面是提高设计自由度，优化内部流体通道的设计，减少流体效率的损失。增材制造的液压歧管可应用在农业机械、赛车、航空、帆船等多种机械设备的液压阀体中。

与传统液压阀块规则的长方块状结构相比，3D打印液压歧管带给人的最直观印象是其结构不再是规则的阀块，而是一组具有不规则形状的“管道”。



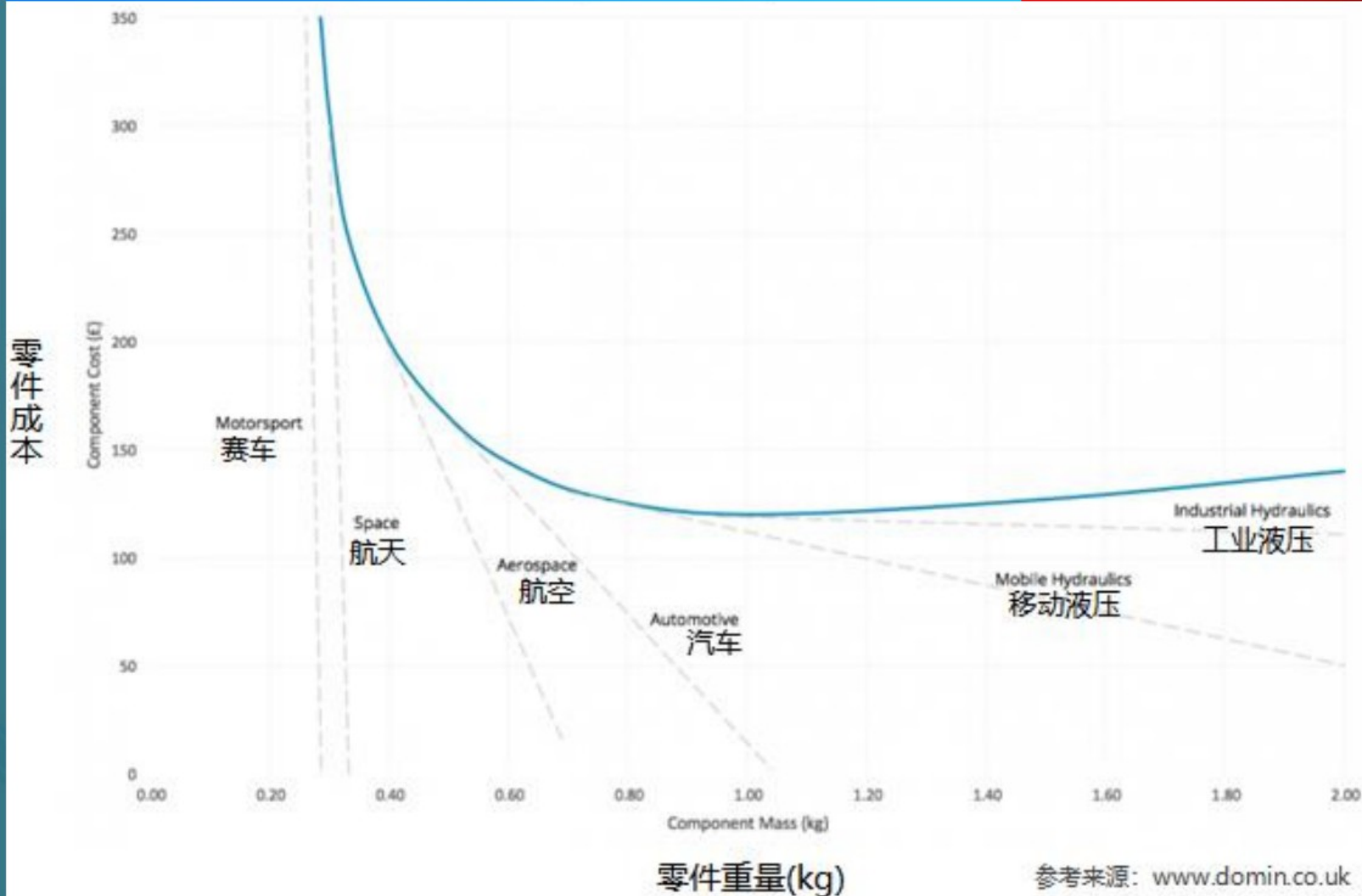
图：传统方式制造的液压歧管（左）3D打印的液压歧管（右）

13

传统制造方式 - 减重与效益平衡点

每个行业在减重带来的经济性方面是不一样的，蓝线与灰线相交的点显示了每个细分市场的设计目标。由于制造成本的原因，减重超过此点只会减少供应商的利润，而不会给细分市场带来更大的价值。

传统制造方式液压零件重量与成本



14 增材制造 – 足够轻，足够便宜

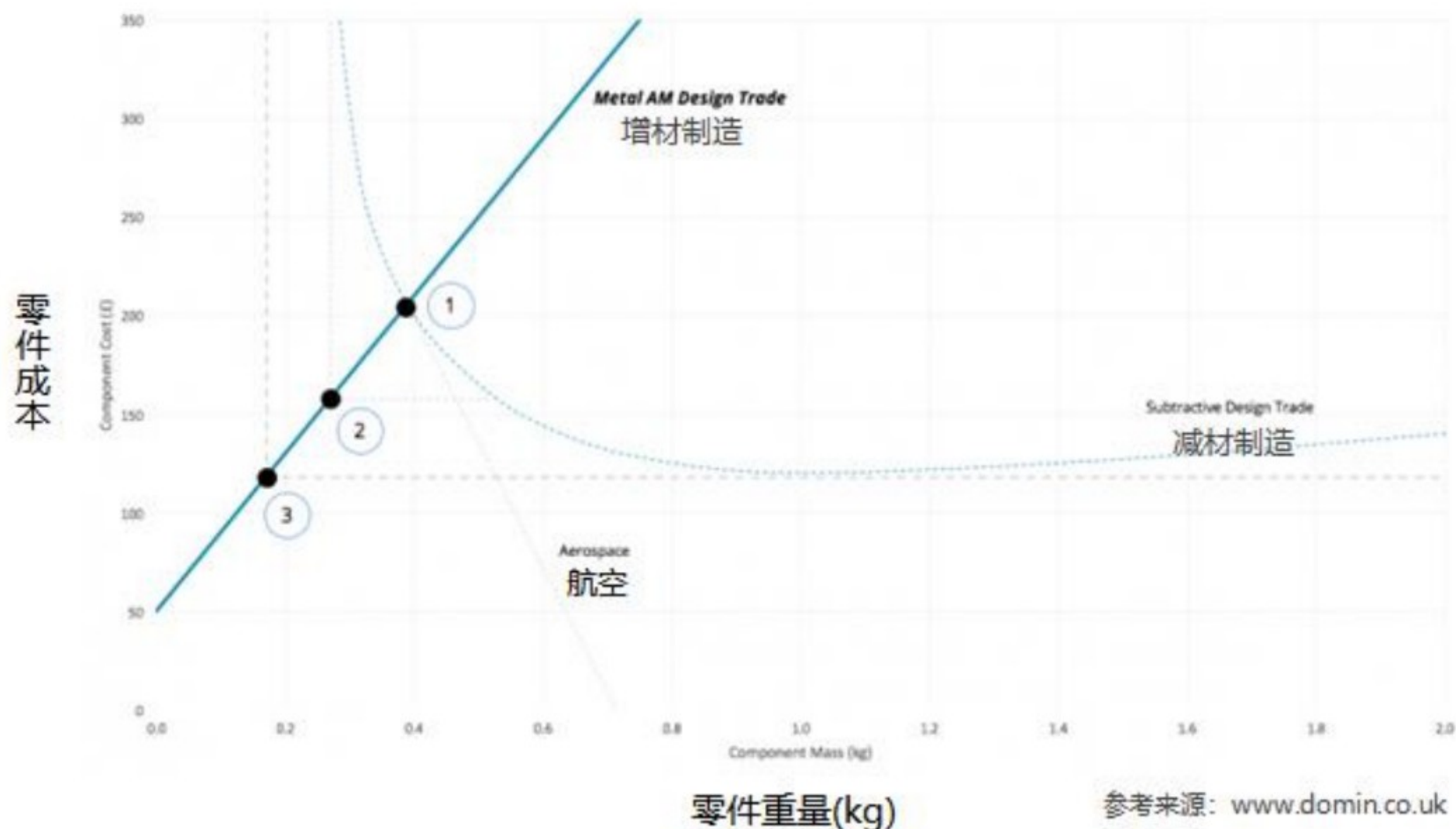
该图上有三个点：

1. 这是AM增材制造设计在航空市场上可行的关键点-已达到满足客户要求所需的重量阈值。

2. 这个点上，设计可以满足航空航天，太空和赛车运动的要求，从而在重量和性能方面重新定义了“最先进的技术”。

3. 第3点是设计满足所有市场要求：它足够轻便，可以满足对重量最敏感的市场，而价格便宜，可以满足对成本最敏感的市场。

增材制造方式液压零件重量与成本





3D打印 在液压领域的应用

15

3D打印技术推动液压技术发展

3D打印技术用于液压领域

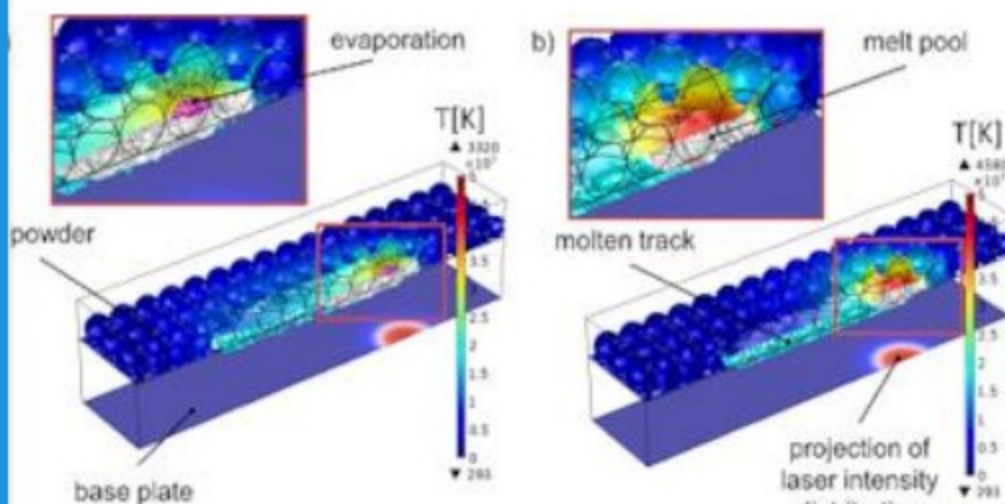
BJ

粘结剂喷射金属3D打印



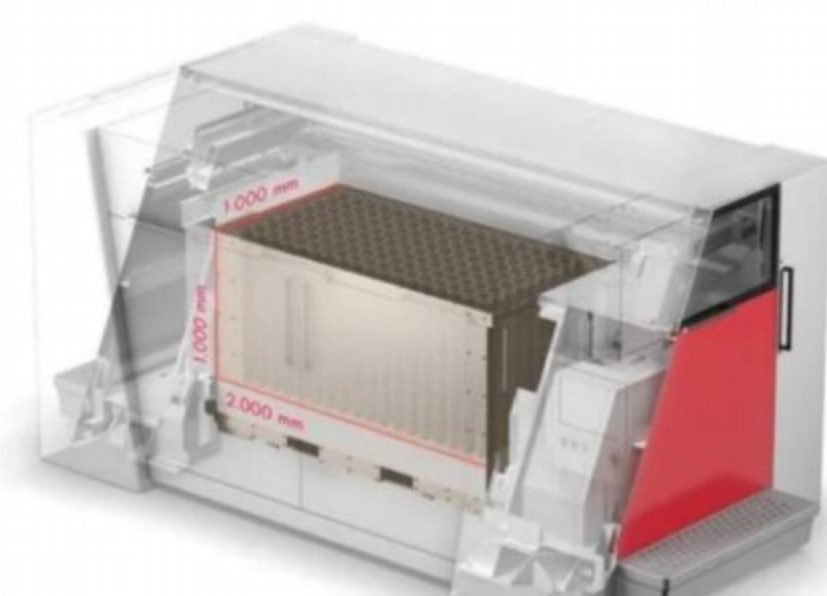
PBF

选区金属熔化金属3D打印



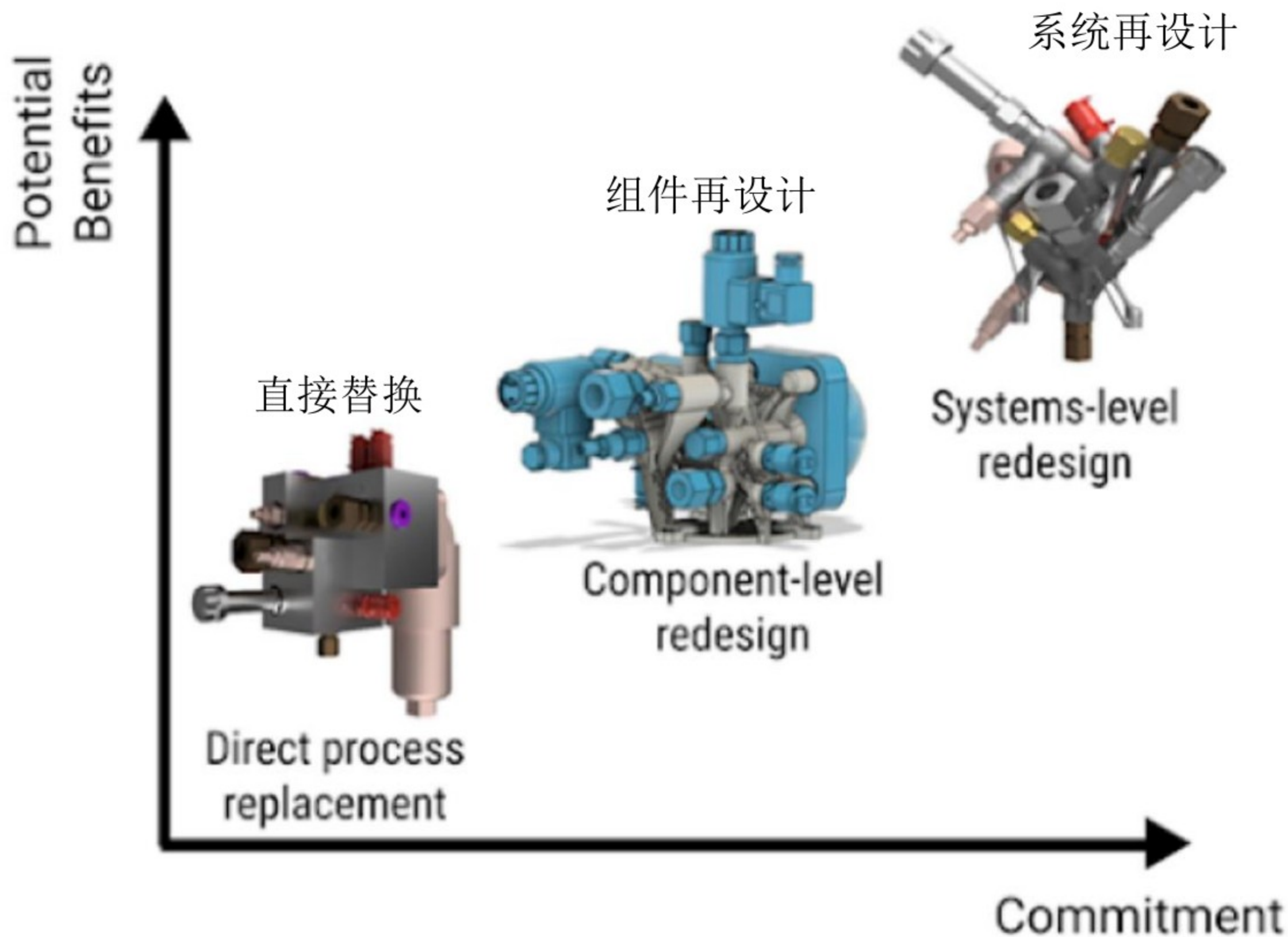
BJ

粘结剂喷射砂型3D打印



16 3D打印技术推动液压技术发展-重新设计

传统液压元件与3D打印液压元件在设计上有着显著的不同。以液压阀为例，传统液压阀块为规则的长方块状结构，而3D打印液压歧管带给人的最直观印象是不再是规则的阀块，而是一组具有不规则形状的“管道”。

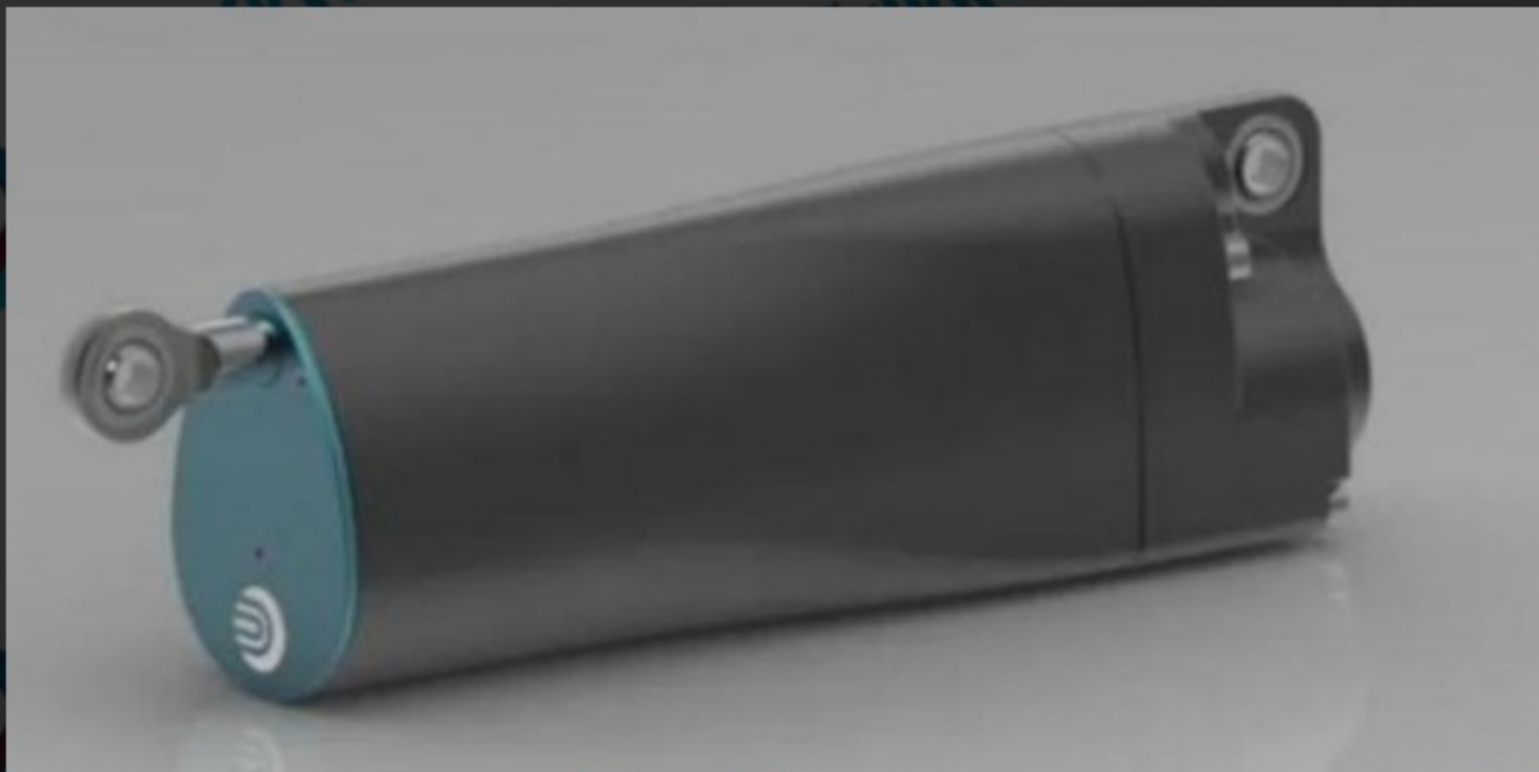


铸造阀芯的过程中存在铸造气孔、夹砂和杂质等缺陷挑战，造成阀芯外壁的裂纹和微孔，使得阀芯的生产率低、合格率低。同时砂型铸造精度低及泥芯偏置，导致铸造阀芯的壁厚严重不均匀及加工余量很大，后期CNC机加工的过程中材料消耗多。

借助3D打印技术，每个液压阀芯都可以作为单个零件而不是多个组件进行整合和打印，由于无需用户输入即可一次打印数千个，从而显着降低了装配劳动力成本。

Desktop Metal 根据 ASTM 测试要求在 Desktop Metal的生产系统上打印了合格且完全表征的 IN625 液压阀芯。在 Desktop Metal的生产系统平台上打印 IN625 零件不仅使得多个零件作为结构一体化零件制造出来，而且最大限度地减少了材料浪费，与传统制造方法相比，生产时间和零件成本也显着降低。





阿斯顿马丁跑车（Aston Martin）与增材制造流体动力零件专家Domin合作，在六个月内开发出世界领先的主动悬架系统。新的设计提供了无穷的阻尼可变性，用于阿斯顿·马丁的悬架系统的设计基于Domin的专利阀门技术，涉及3D打印阀体芯，其中包含25个流体通道，通过这些流体通道的协同作用，以提供优异的控制性能。

这种控制单元内部的流道曲线特性只能通过3D打印-增材制造技术来实现，这也使其具有出色的机械性能。通过Domin的先进设计及3D打印加工能力，可以实现单位间隔的曲线特性，从而实现了悬架系统所需的机械性能。AST系统将在阻尼方面提供“无限”的可变性，具有高达0.015秒的阶跃响应，并且单元的重量低于4kg。



19 意大利Aidro

金属3D打印

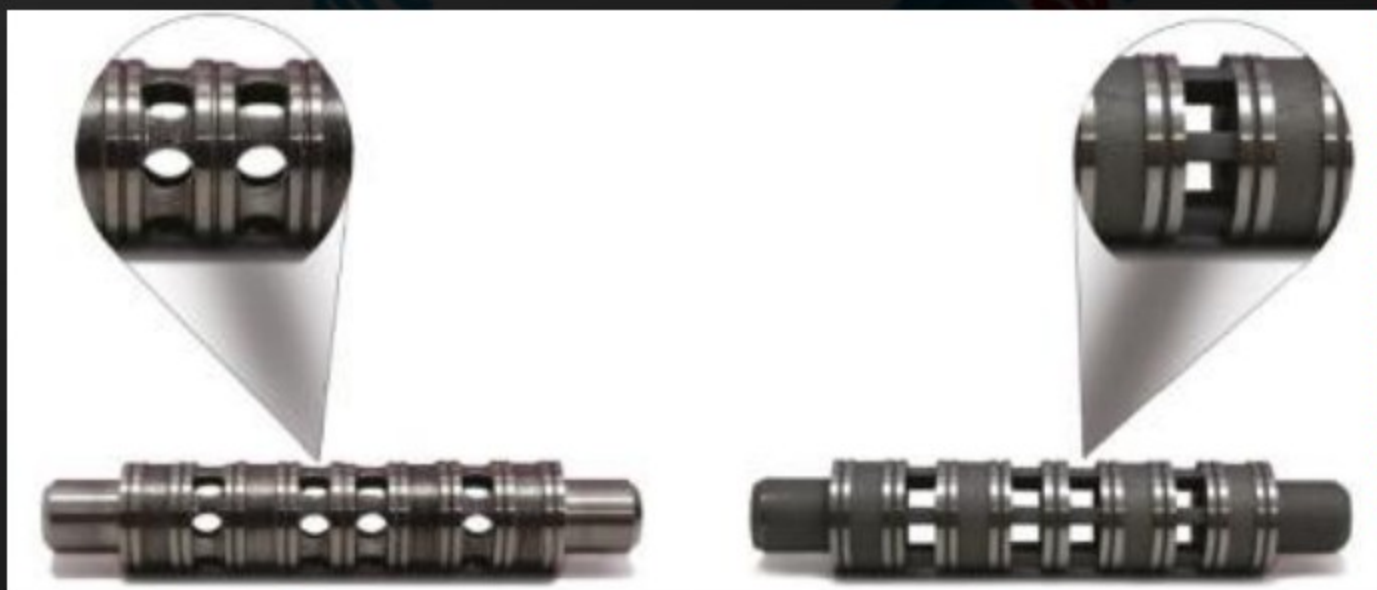
2017年，意大利Aidro液压3D打印液压阀块的研发获得成功，目前已经具备通过3D打印技术制造特殊液压阀体的能力。

Aidro液压通过金属3D打印技术来制造液压阀块，在进行产品设计时无需考虑交叉钻孔的设计约束，并且可以将锋利的角换成圆形弯曲的设计从而减少湍流现象。

Aidro 液压通过金属3D打印技为一些有特殊需求的客户定制化生产小批量的液压阀块，作为其现有液压零部件生产能力的一种补充。目前，不锈钢（从AISI 304 到 316L）、铝、钛，以及部分新材料的阀块都能够通过3D打印设备进行小批量生产。



图片：Aidro3D打印的液压阀



图：Aidro设计了一个全新的阀芯，通过3D打印，用方孔代替圆孔，这增加了阀芯内的通道面积并减少了压降。



Aidro hydraulics成功开发的首个3D打印液压阀块，制造材料是不锈钢，作用是控制单作用气缸。Aidro hydraulics 在设计3D打印阀块时进行了创新，液压阀块的内部管道经过了设计优化，使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。

另一个案例中，Aidro Hydraulic 针对增材制造技术对减压阀进行了重新设计，设计的结果是阀体的重量减少60%，阀体的结构壁与原始阀体相比拥有相当的力学性能。此外，Aidro Hydraulic用250bar的压力对金属3D打印的阀体进行了测试，测试结果达到传统阀体的水平。

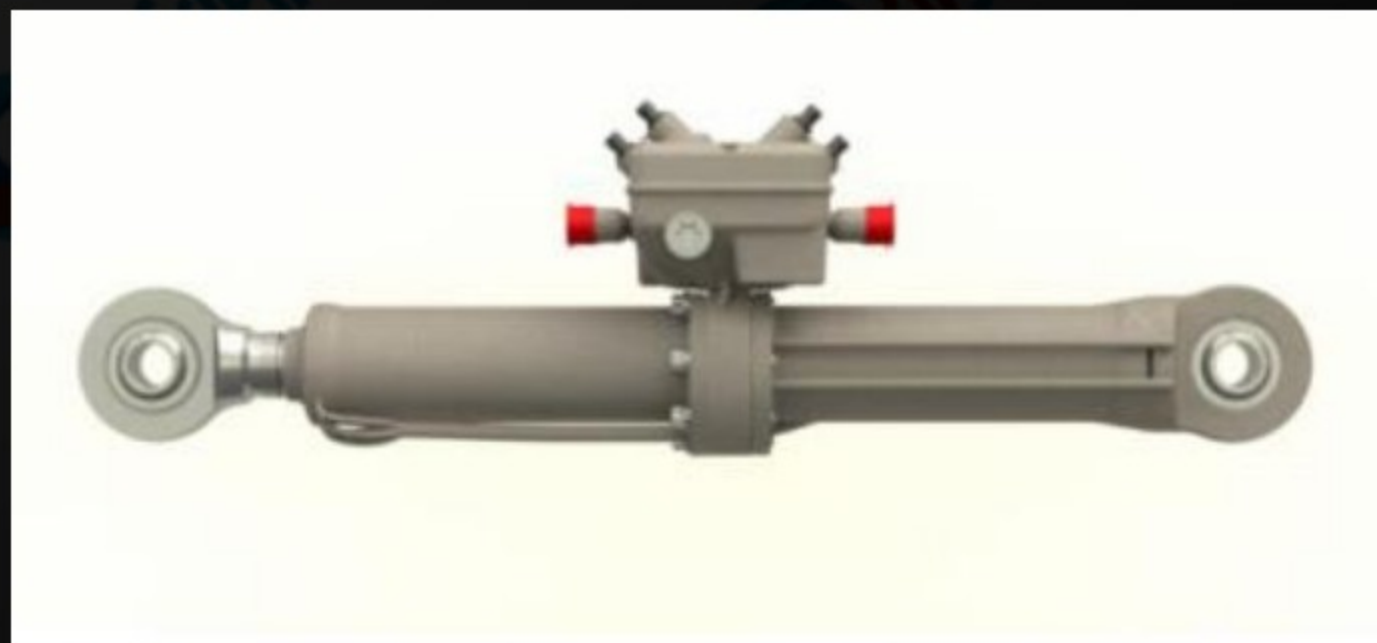


图左边的阀块是由机加工制作，并经过了镀锌处理来提高耐腐蚀性，右边的阀块由3D打印而成，重量减轻了60%，但强度相当。实际上，传统的机加工工艺也可以将重量做的更轻，但成本却要高得多。（图片来源：Aidro）

直接驱动伺服液压阀体的重新设计和3D打印

Domin Fluid Power制定了新的流体动力产品“稳定”设计的战略，这个战略建立在以金属3D打印技术作为制造方式的基础上。在此基础上，Domin公司对一些多年来都没有什么明显改变的液压流体动力零部件进行了重新设计与制造，包括直接驱动伺服液压阀。

Domin Fluid Power重新设计与制造的3D打印直接驱动伺服液压阀，经历了上千小时的设计、分析、测试和评估。Domin Fluid Power表示重新设计的3D打印阀体在重量、体积上都得以降低，由于液压阀体压力损失的减少，阀体效率也得以提升。



图：Domin Fluid Power直升飞机中功能集成式的双液压阀控制模块

2017年3月30日，空客装载了首个3D打印液压件的A380飞机已试飞成功，这让空客看到了通过3D打印提高液压零件性能的机会。

3D打印扰流板液压歧管的研发项目始于2007年，当时德国开姆尼茨工业大学和利勃海尔集团在德国政府基金的支持下展开航空液压元件增材制造项目，2010年空客加入这个项目组。

3D打印液压件的明显优势是轻量化，其重量相比原来液压件减轻35%。在性能方面，3D打印的液压件使液压系统的效率得以优化，产生更少热量，降低噪音，同时对液压动力的要求更少。而液压系统效率的提升，将为飞行带来附加效益，例如减少空气阻力以及优化飞机的燃油效率。

对于这个3D打印扰流板液压件，空客与利勃海尔的最终目标是实现量产。参与项目的成员德国利勃海尔集团是空客的一级供应商。



ALM – 3D Printing Systems
A380 Spoiler Actuator Manifold → example for common ALM R&T

ALM System & Equipment Suppliers & AIRBUS working Group:
The first Award for the a flyable ALM part on test AC goes to: **LIEBHERR Aerospace**

First printed & flyable hydraulic Word Wide
Flown on MSN 001 A380 Test AC March 30th 2017

35% weight reduction
(T6-4 housing only: -55%)

AIRBUS

穆格建立了内部增材制造中心，中心拥有12台粉末床选区激光熔化金属3D打印设备，以及近10台非金属3D打印设备。在过去的十年中，穆格一直通过研发中心、计量与材料分析实验室、应力消除热处理炉来开展增材制造液压元件的设计、生产、后处理以及检测工作。

穆格一个典型的应用是利用3D打印技术优化了促动器内部液压系统的结构，使得原来需要五个组件组装而成的零件，被改进为一个3D打印的一体化零件，并且在零件内部包含了液流通道。



2017年，派克汉尼汾在其总部附近开设了“先进制造学习和开发中心”，工程师可以在该中心探索增材制造/3D打印、协同机器人技术等新兴技术。

通过这个中心，派克全球范围内的分公司和运营团队都将能够获得最新的打印材料、3D打印设备和软件，使全球范围内的派克工程师更好的解决客户需求。



金属3D打印在液压零件方面的应用还需要与机加工以及热处理等后处理工艺相结合才能真正达到零件的性能要求。在3D打印完成后，多轴CNC加工中心为精加工关键特性提供了高度的精度，为了正常运转，表面光洁度也是另外一个重要的关键质量要求。圆柱体的顶面和底面存在临界平面度和平行度的精度要求，这都需要通过机加工来实现，在连接部位，还需要精密的螺纹磨削来进行加工操作。

雷尼绍帮助路虎BAR帆船通过金属3D打印的液压系统零件提升性能，加工出内含光滑圆角的零件，大大提高流体传输的效率。

雷尼绍为帆船的液压系统生产了多个关键零件，新的3D打印的液压歧管设计重量减少了60%，而效能则提升超过20%。

增材制造包含一整套复杂的制造方案，雷尼绍涵盖了从零件设计到工艺流程等方方面面的专业知识。最好的应用是使用最少的材料来达到设计要求，产品具有实用的功能性优点，且应在设计时便已将制造方法考虑在内。

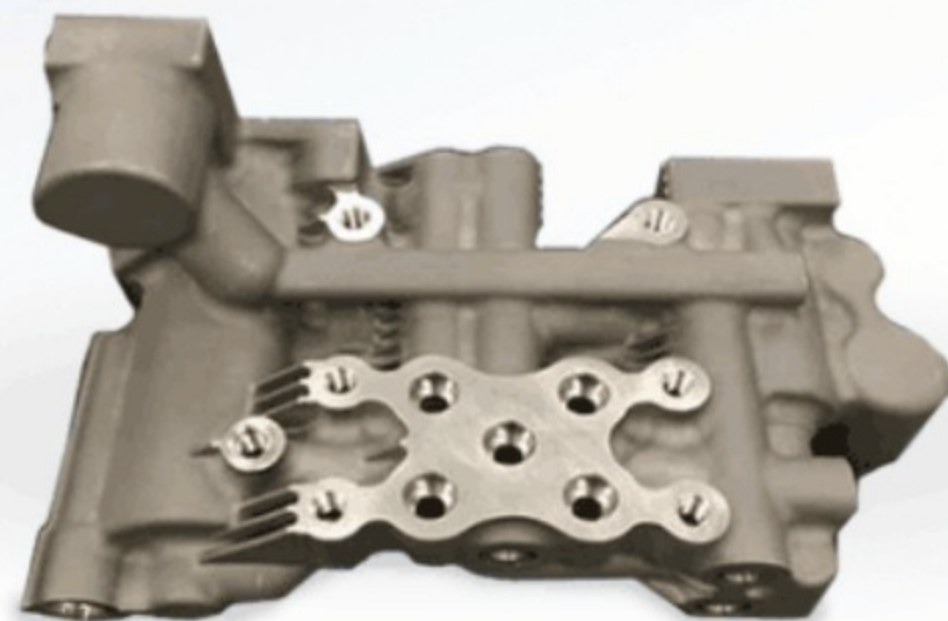


图：雷尼绍为路虎BAR帆船队制造的金屬3D打印液压系统零件



2016年8月，Materials Solutions被西门子收购，西门子正在使用3D打印技术来维修和翻新热气路径组件，并根据需要为西门子的燃气轮机提供备件。Materials Solutions工厂通过3D打印技术改进传统零件或以传统制造方法无法实现的方式制造前所未有的零件。

西门子投资的2700万英镑使得Materials Solutions能够从实验室切换到生产工厂，引入新的创新技术并专注于金属增材制造工艺的产业化。此外，Materials Solutions在3D打印液压歧管方面积累了丰富的经验。

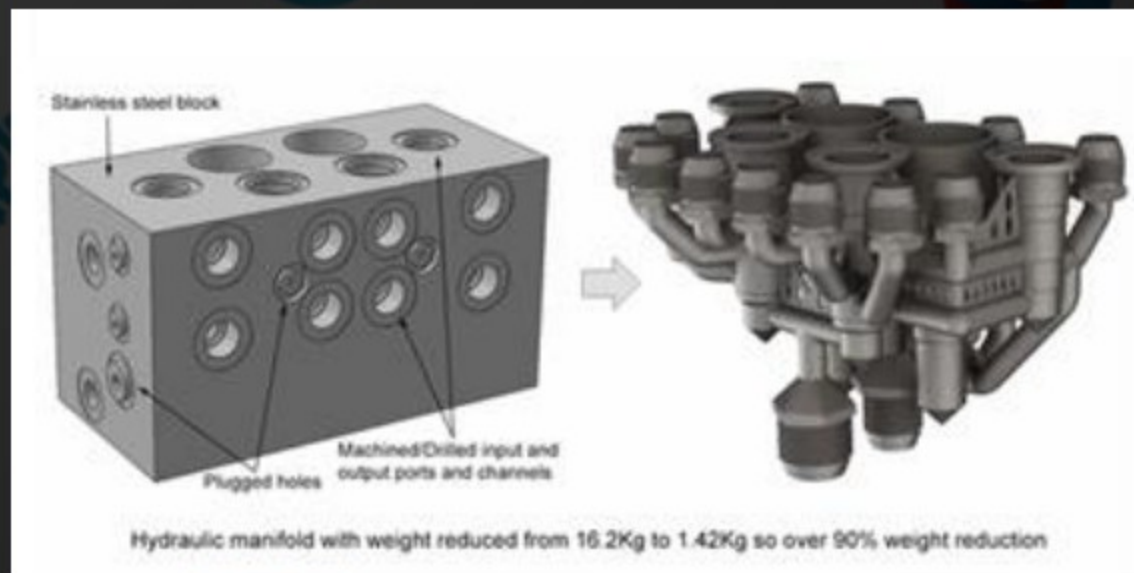


This 3d-printed titanium hydraulic manifold fulfils the most demanding requirement by the Aerospace industry and secures the highest availability for maximum passenger safety.

该3D打印的钛合金液压歧管满足航空航天工业最严苛的要求，并保证最高的安全性



奥克兰大学与RAM3D开发的3D打印液压零部件的重量为1.42kg，而原来的设计通过CNC机加工的重量为16.2kg，因此通过3D打印总重量减少了90%。不仅如此，3D打印的液压歧管减少了由小角度引起的压力损失，并且总体上大大改善了流动动态，而无需支付额外费用。



图片来源：RAM3D&奥克兰大学



宾州州立大学将一个液压阀块通过3D打印以一个整体结构制造出来，用来替代由17个零件组成的装配体，重量减少了70%，却仍可以承受相同的压力和疲劳测试。



图片来源：PSU

28 国内3D打印液压

金属3D打印

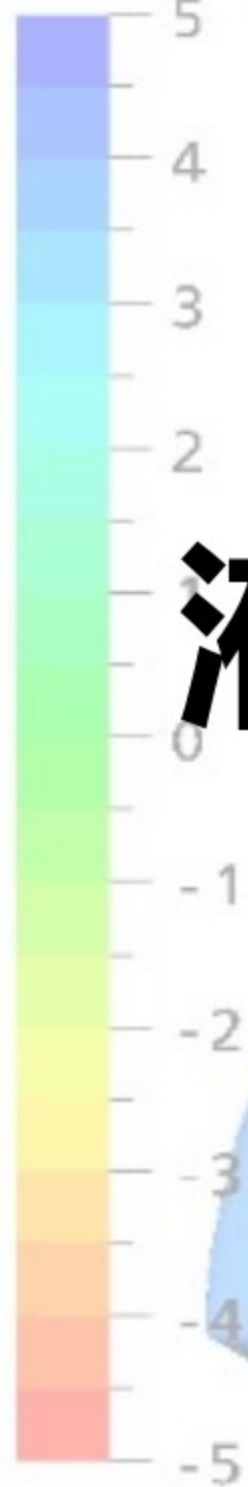
安金大申请了耐磨耐蚀的高精度阀门，包括高强度耐磨耐蚀阀体以及3D打印高精度阀门内件的专利。高强度耐磨耐蚀阀体采用特殊元素配比的原料进行铸造，3D打印高精度阀门内件使用3D打印技术将各阀门内件制造、组装同时完成；最后将高强度耐磨耐蚀阀体与3D打印高精度阀门内件进行组装。3D打印技术如下：

- 3D打印机中的部分感光鼓充电获得电位，经载有正图形映像信息的光束扫描，形成正图形映像的静电潜像。
- 正图形映像的静电潜像经过磁刷吸附一层热熔粉末，加载电压使热熔粉末落入模型工作台中，在模型工作台中形成由热熔粉末铺成的正图形。
- 3D打印机中剩余感光鼓充电获得电位，经载有反图形映像信息的光束扫描，形成反图形映像的静电潜像。
- 反图形映像的静电潜像经过磁刷吸附一层热熔粉末，加载电压使热熔粉末落入模型工作台中，在模型工作台中形成由热熔粉末铺成的反图形。
- 重复以上步骤，进行逐层打印。



专利号：CN201410210979.5

cp Klappe I 40 Grad
Klappe II 00 Grad



液压零件设计、仿真、检测



29 创成式设计软件

Generative Design

拓扑优化 (Topology Optimization) 与创成式设计 (Generative Design) 的区别：创成式设计 (Generative Design) 是根据一些起始参数通过迭代并调整来找到一个 (优化) 模型。拓扑优化 (Topology Optimization) 是对给定的模型进行分析，常见的是根据边界条件进行有限元分析，然后对模型变形或删减来进行优化。

创成式设计软件及平台



ptc



HEXAGON



ELISE



Desktop Metal™



Gen3D

Simufact

Hexagon海克斯康旗下的仿真软件Simufact，是基于有限元法(FEA)的全球领先的工艺仿真方案，适用于金属成形、连接、焊接和金属 增材制造的工艺仿真，Simufact能够进行完整的工艺链仿真

AMESIM

AMESim最早由法国Imagine公司于1995年推出，2007年被比利时LMS公司收购。2012年西门子以6.8亿欧元收购了比利时软件公司LMS International。

Hopsan

Hopsan瑞典从1977年开始研制，历时8年推出了Hopsan液压系统仿真软件。Hopsan软件的建模方法是元传输线法，源于特征法和传输线建模。

EASY5

MSC Easy5诞生于波音公司，兼具完全的图形化建模环境、强大的仿真和分析能力、连接其它多种工程软、硬件的开放结构，可以对各种由微分、差分和代数方程描述的动态系统进行仿真。

SIMUL-ZD

SIMUL-ZD是浙江大学流体传动及控制实验室开发的面向物理模型的液压系统仿真软件包。

HyPneu

FluidSIM

HyPneu软件是美国BarDyne公司的产品,是集液压、气动为一体的流体动力与运动控制仿真软件。

ADAMS P Hydraulics

FluidSIM软件由德国Festo公司Didactic教学部门和Paderbom大学联合开发，是专门用于液压与气压传动的教学软件，FuidSIM软件分两个软件，其中FluidSIM-H用于液压传动教学，而FluidSIM-P用于气压传动教学。

Matlab P Simulink

31

发展方向：人工智能+3D打印



智能化设计

SIEMENS

AUTODESK



AUTODESK
FUSION 360™



HEXAGON

MSC Software

nTopology



ELISE



ptc **creo**™



Desktop Metal™





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

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。