--- White Paper Series ---

3D科学谷白皮书系列

3D打印与航天研发与制造业白皮书1.0

White Paper of 3D Printing and Aerospace R&D and Manufacturing



白皮书下载请加入3D科学谷QQ群: 529965687

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

Version ID:20180814



www.3dsciencevalley.com



3D Science Valley

市场研究白皮书系列、Insights行业洞见、AME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

2百万+点击量(年)

全球

能量聚合

SD WHITE ORGANIAN COMMANDA

机械工人出版社发行, 京东、当当有售

.

交汇

认知贯通

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



多维





www.3dsciencevalley.com







飞行器活动范围分类图

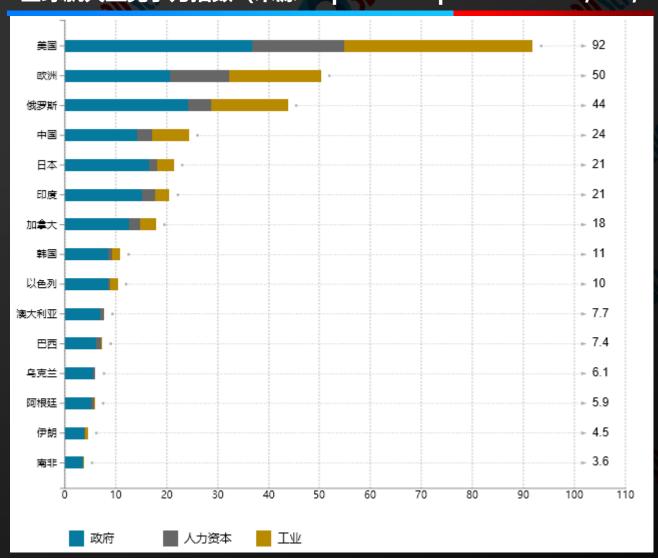
航天又称空间飞行或宇宙航行。"航天"系泛指航天器在太空在地球大气层以外(包括太阳系内)的航行活动,粗分为载人航天和不载人航天两大类。航空是在地球的大气层内飞行,航空飞行始终没有脱离地球的引力。





2 航天业

全球航天业竞争力指数(来源:Space Competitive Index, SCI, Furtron)



美国在航天领域保持着绝对的优势,不过,中国、日本、 俄罗斯、印度的竞争水平逐年大幅提升。

来源: Space Competitive Index, SCI, Furtron

航天科技工业体系

中国的航天科技工业体系中,航天科技与航天科工是两大核心集团。航天科技侧重于航天,航天科工侧重于防务。航天科技集团主要从事运载火箭、人造卫星、载人飞船的研制工作,打造了"神州","长征"等著名品牌,创造了载人航天和月球探测等里程碑事件。航天科工集团主要从事导弹武器装备研究与生产。当然,在大量的航天防务系统研制过程中,两大集团会经常出现分工合作、共同参与的局面。

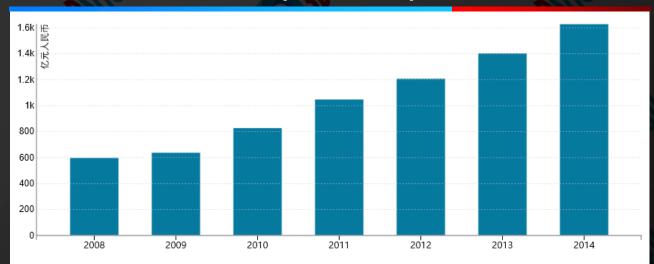




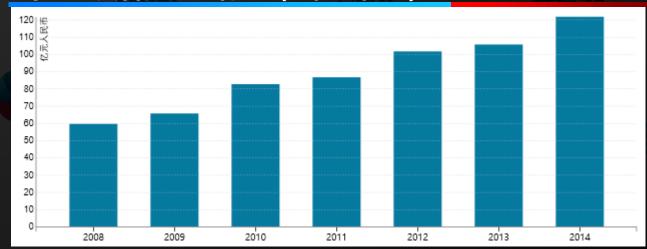


航天科技集团营业收入及利润

中国航天科技集团收入 (单位: 亿元)



中国航天科技集团利润 (单位: 亿元)

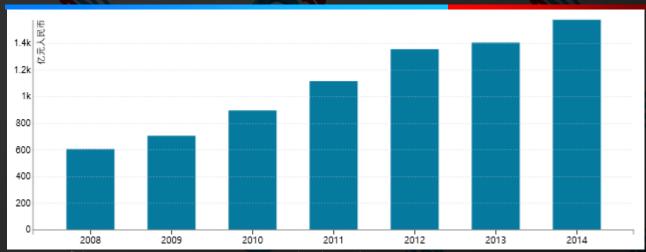


2014年, 航天 科技集团实现营 业收入1675.3亿 元, 同比增长 18%, 6年复合 增速19.1%

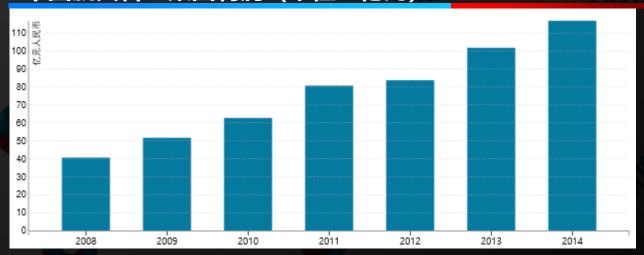


航天科工集团营业收入及利润

中国航天科工集团收入 (单位: 亿元)



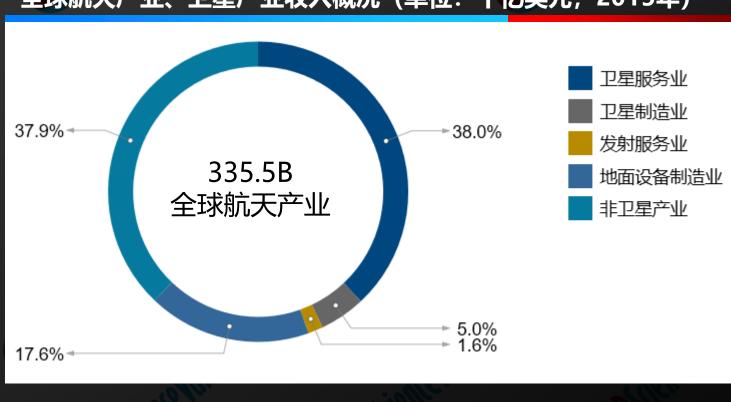
中国航天科工集团利润(单位:亿元)



2014年, 航天 科工集团实现营 业收入1574.28 亿元, 同比增长 11%, 6年复合 增速17%.

卫星产业

全球航天产业、卫星产业收入概况 (单位: 十亿美元, 2015年)



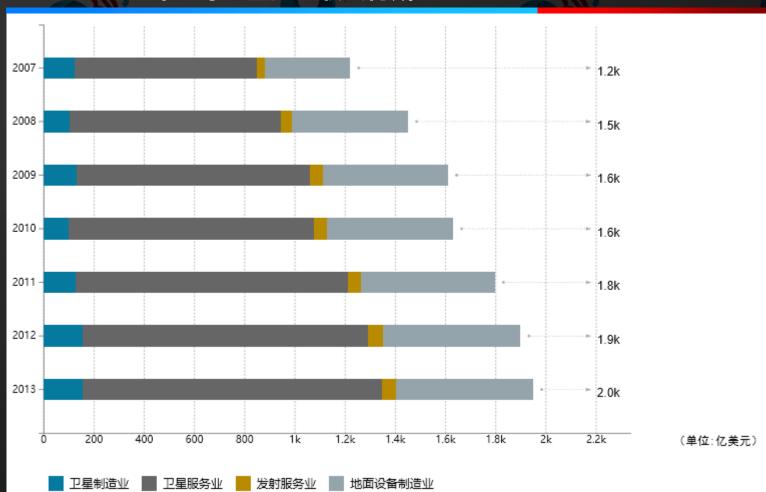
全球卫星产业收入为2083亿美金, 为2083亿美金, 占全球航天产业收入3353亿美金的62%。

非卫星产业的航天 收入包括载人航天 飞行收入、非地球 轨道航天器收入和 政府预算。



7 卫星产业

2007-2013年全球卫星产业收入构成



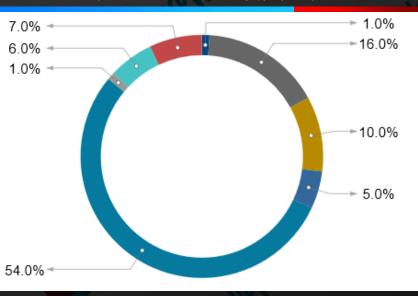
卫星产业可以划分为卫星服务业、卫星制造业、发射服务业和地面设备制造业四大级域。卫星制造业和发射服务主动,是航天产业的核心,但与核心,但与有约2.6%和8%。



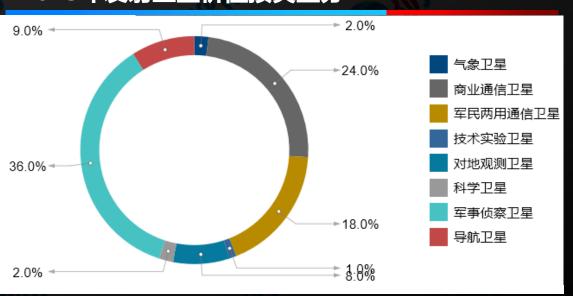
卫星产业

2015年卫星制造业总收入为166亿美元。卫星按照功能可以分为通信卫星、对地观测卫星、导航卫星三大类。

2015年发射卫星数量按类型分



2015年发射卫星价值按类型分



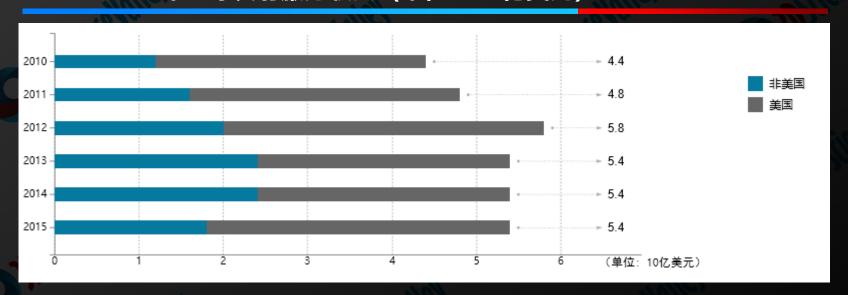
资料来源: SIA



卫星产业

2015年全世界发射服务业收入为54亿美元。

2010-2015年全球发射服务收入 (单位: 10亿美元)



资料来源: SIA



运载火箭

运载火箭用于把人造地球卫星、载人飞船、航天站或行星际探测器等送入预定轨道。末级有仪器舱,内装制导与控制系统、遥测系统和发射场安全系统。

有效载荷装在仪器舱的上面,外面套有整流罩。它每一级都包括箭体结构、推 <u>进系统和飞行控制系</u>统。级与级之间靠级间段连接。有效载荷装在仪器舱的上

面,外面套有整流罩。

常用的运载火箭按其所用的 推进剂来分,可分为固体火箭、 液体火箭和固液混合型火箭 三种类型。

按级数来分,运载火箭可以分为单级火箭、多级火箭。其中多级火箭按级与级之间的连接形式来分,分为串联型、并联型、串并联混合型三种。





www.3dsciencevalley.com

11 火箭发动机

火箭发动机

物理动力发动机

核火箭发动机

电火箭发动机

化学火箭发动机

液体火箭发动机
液体火箭发动机

参考资料:维基百科、百度百科



轻量化 3D打印在航天领域的应用价值



12 轻量化 I 四大途径

要实现轻量化,宏观层面上可以通过采用轻质材料,如钛合金、铝合金、镁合金、陶瓷、塑料、玻璃纤维或碳纤维复合材料等材料来达到目的。微观层面上可以通过采用高强度结构钢这样的材料使零件设计得更紧凑和小型化,有助于轻量化。

而3D打印带来了通过结构设计层面上达到轻量化的可行性。具体来说,3D打印通过结构设计层面实现轻量化的主要途径有四种:中空夹层/薄壁加筋结构、镂空点阵结构、一体化结构实现、异形拓扑优化结构。

3D打印实现轻量化的四种途径



轻量化 I 3D打印胞元结构建模的六大挑战

就像建筑用的空心砖, 胞元的应用减少了材料的使用, 有效帮助实现轻量化, 而与此同时, 如何保证仍然满足力学性能的要求, 则成为建模界面对的挑战。

- 1 <u>连续建模</u>,各向异性是在建模过程中就需要考虑的因素,而诸如表面粗糙度、局部结构或尺寸公差这些问题在小于1毫米厚的连接部位变得尤为突出
- 2 大小的影响,以弹性模量为例,这个属性强烈地依赖于参与实验表征过程中的胞元数量。
- 3接触效应,在压力试验中结构件顶部和底部的力学分布与位于结构件中间的可能是大不相同的。
- 4 宏观结构的影响, 宏观结构也会对微观结构带来影响, 包括非常高的纵横比。
- 5尺寸公差的影响,尺寸误差用在含胞元结构的产品上可能带来非常显著的作用。
- 6 细观结构的影响,悬垂面与水平面的角度往往带来不同程度的表面情况。

轻量化 | 胞元建模的四大类型

蜂窝

蜂窝结构强度很高,重量又很轻,还有益于隔音和隔热。因此,现在的航天飞机、人造卫星、宇宙飞船在内部大量采用蜂窝结构,卫星的外壳也几乎全部是蜂窝结构。因此, 这些航天器又统称为"蜂窝式航天器"。

开孔泡沫

与闭孔泡沫相比较,开孔泡沫对水和湿气有更高的吸收能力,对气体和蒸汽有更高的渗透性,对热或电有更低的绝缘性,还有更好的吸收和阻尼声音的能力。

闭孔泡沫

闭孔泡沫塑料的力学强度较高,绝热性和冲缓性都较优,吸水性小,一般用作保温、绝缘、 隔音、包装、漂浮、减震以及结构材料等用途。

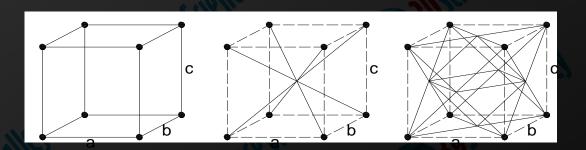
点阵结构

点阵结构的材料特点是重量轻、高强度比和高特定刚性。并且带来各种热力学特征,点阵结构的超轻型结构适合用在抗冲击/爆炸系统、或者充当散热介质、声振、微波吸收结构和驱动系统中。



轻量化 I点阵结构胞元性能研究

中国空间技术研究院总体部根据三维点阵的胞元形式的特点,结合三维点阵在航天器结构中应用的实际情况,提出三维点阵结构胞元的表达规范,即通过胞元占据的空间并结合胞元杆件的直径来表达三维点阵结构胞元的设计信息。



来源:中国空间技术研究院总体部

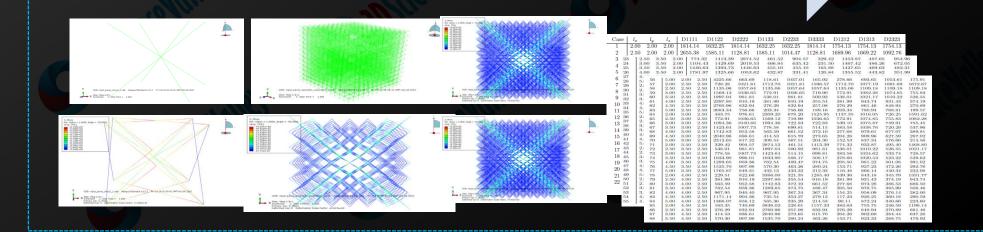
单胞等效计算

多胞等效计算

尺寸效应修正

力学试验修正

胞元数据库





轻量化的微小卫星

PBF 激光加工技术

卫星

中国空间技术研究院总体部基于增材制造及点阵结构的典型微小

卫星主结构:

-尺寸包络:

400×400×400mm;

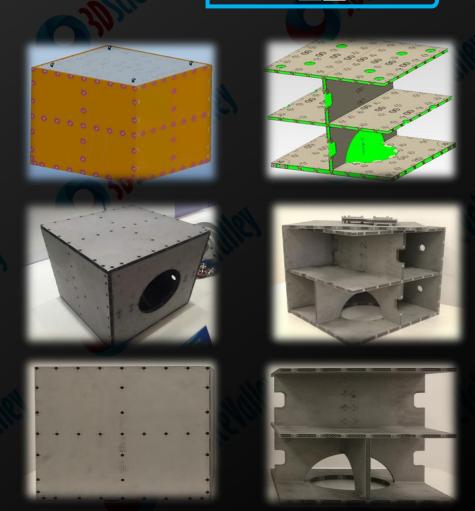
-承载能力: 104kg;

-结构重量: < 9kg;

-─阶频率: > 110Hz;

-模型数据量: < 100M;

-制造周期:不超过15天



图片来源:中国空间技术研究院总体部



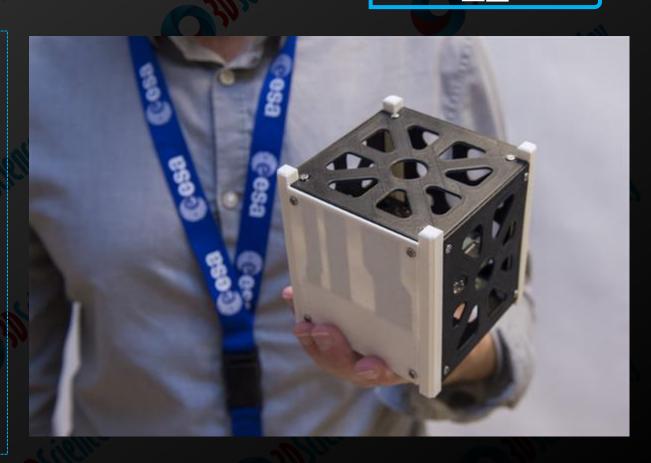
轻量化的火箭零件

PBF 激光加工技术

卫星

2017年,欧洲航天局 (ESA) 推出了一项新的3D打印 CubeSat立体小卫星项目,材 质为PEEK塑料。随着第一次测 试运行正式进行,欧空局旨在 使这些3D打印的微型卫星投入 商业应用,并配有内部电气线 路。而仪器、电路板和太阳能 电池板只需要插入即可。

欧洲航天局已经开始与葡萄牙聚合物工程公司PIEP建立新的合作伙伴关系。这种合作伙伴关系将共同创造了一种可3D打印的PEEK,通过向材料中加入特定的纳米填料而具有导电性。



轻量化的微型卫星

俄罗斯首个3D打印的立方体卫星 (CubeSat) Tomsk-TPU-120于 2016年的3月31日搭载一枚进步MS-2火箭进入国际空间站,并由空间站 上的宇航员通过太空行走将其放入太 空轨道上。该卫星将围绕地球飞行半 年的时间。Tomsk-TPU-120是一个 标准的立方体卫星,外形方方正正, 尺寸为300×100×100毫米。该卫星 的外壳是使用经俄罗斯宇航局批准的 材料3D打印而成的,大部分是塑料 部件。为卫星提供动力的电池组外壳 是用氧化锆陶瓷材料3D打印而成的。 使用陶瓷材料能够将,不受太空温度 剧烈变化的伤害,从而延长电池组的 寿命。

卫星





19 轻量化的火箭零件

PBF 激光加工技术

卫星

位于丹麦哥本哈根的一家基础工程公司Adimant打印了金属点阵结构件用欧洲最大的卫星制造商Thales Alenia Space的卫星上。结构件重量为1.7公斤,体积为134×28×500毫米。



图片来源: Thales Alenia Space

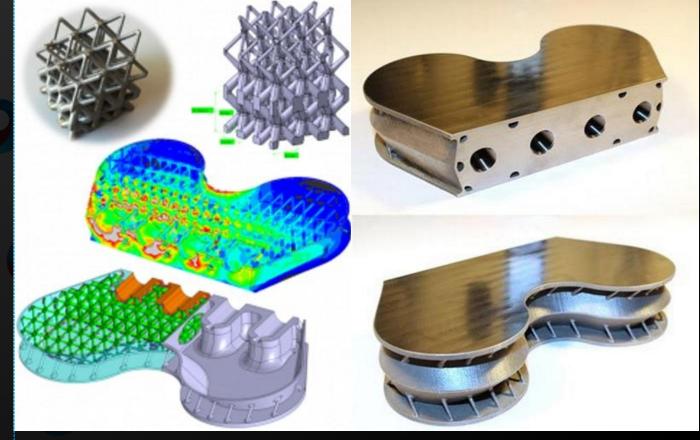


轻量化的卫星结构件

比利时3D打印公司Materialise与数字化服务巨头源讯(Atos)携手, 开发出了一个航空航天部件: 3D打印的钛金属插入件,该部件是一 个高负荷的零件,比之前通过传统方式制造的插入件轻了近70%。 PBF 激光加工技术

卫星

该插入件的作用是用来固 定和连接大尺寸的卫星结 构件, 也是用来转移卫星 和其他约束结构的高机械 负载。最初,通过两家公 司的团队对当前使用的部 件进行了全面的研究,将 其重量减少到了只有原来 的三分之一,同时还提高 了该部件的机械性能。而 在后期的研究中,共减重 了66%。确切地说,研究 人员将该插入件的重量从 原来的1454克减到了500 克。





轻量化的火箭零件

PBF 激光加工技术

火箭

莫纳什大学和Amaero Engineering与Betatype合作,通过Betatype复杂晶格建模软件平台Engine-Platform 开发火箭发动机轻量化零件。

莫纳什大学的团队开发了一系列体现 3D打印特点的概念性火箭零件,其 中一个零件是火箭壁内的带有随形冷 却夹芯结构的轻量化零件。通过 Engine-Platform软件中开放的 Arch格式,研究团队能够避免因创 建网格结构而产生大量的数据。软件 中抽象的算法,大大降低了CAD模 型数据的复杂度,使得模型数据更容 易管理。



通过Concept Laser X-Line 打印的火箭发动机轻量化零件原型 图片来源: Betatype



轻量化的火箭零件



火箭

Aerojet Rocketdyne于2017年4月 通过测试的3D打印铜合金推力室部 件是全尺寸的,Aerojet Rocketdyne增材制造项目部门表示 这是目前最大的3D打印铜合金推力 室部件。相比传统的制造工艺,选择 性激光熔化3D打印技术为推力室的 设计带来了更高的自由度,使设计师 可以尝试具有更高热传导能力的先进 结构。而增强的热传导能力使得火箭 发动机的设计更加紧凑和轻量化,这 正是火箭发射技术所需要的。



图片来源: Aerojet Rocketdyne

轻量化的火箭零件

PBF 激光加工技术 火箭

2015年,美国航天局NASA 在铜质发动机燃烧室的3D打印方面也取得了突破,打印材料为GRCo-84铜合金,它是在NASA在俄亥俄州的Glenn研究中心开发出来的一种铜合金,打印工艺也是选择性激光熔化。燃烧室衬里的3D打印总共为8255层,仅这一个部件打印时间为10天零18个小时。这个铜合金燃烧室零部件内外壁之间具有200多个复杂的通道,制造这些微小的、具有复杂几何形状的内部通道,即使对增材制造技术来说也是一大挑战。

部件接下来被送至NASA在弗吉尼亚州的Langley研究中心,那里的研究人员会使用电子束自由制造设备为其涂覆一层含镍的超合金。NASA的最终目标是要是要使火箭发动机零部件的制造速度大幅提升,同时至少降低50%的制造成本。



图片来源: NASA



轻量化的航天器

PBF 激光加工技术 航天器

美国牛津性能材料(OPM)公司被选定为波音 CST-100火箭飞船提供3D打印的结构件,OPM已 经开始出货OXFAB材料打印的零部件。CST-100火 箭飞船被设计为可运输多达七名乘客,或混合船员 和货物,在低地球轨道运行—这个火箭飞船隶属于 NASA的商业乘员计划合作项目。

具体地讲,OXFAB-N是未经修饰的PEKK,由于它的低的微波介电常数,最适合用于制造微波天线(天线罩)或其他特殊的电气应用。OXFAB-ESD则是一种加了碳的PEKK,它具有高强度、低重量的机械性能。

PEKK材料"是一种具有卓越的强度、耐化学性、耐低温和高温、耐辐射性,以及优异的耐磨损性能的超高性能聚合物"。由于具有这些令人印象深刻的特性,OPM将其与3D打印能够制造具有独特几何形状的物体的能力相结合,专门针对航空航天、运送、能源、医疗及半导体领域提供低重量、高性能的3D打印部件。





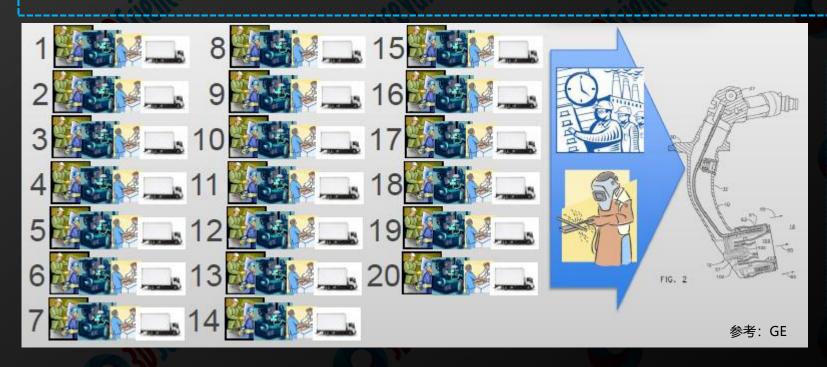


一体化结构实现 3D打印在航天领域的应用价值



一体化结构实现

3D打印可以将原本通过多个构件组合的零件进行一体化打印,这样不仅实现了零件的整体化结构,避免了原始多个零件组合时存在的连接结构(法兰、焊缝等),也可以帮助设计者突破束缚实现功能最优化设计。一体化结构的实现除了带来轻量化的优势,减少组装的需求也为企业提升生产效益打开了可行性空间。



通过3D打印 将复杂的多道 工序减少为一 道或几道。

参考: 铂力特



一体化结构实现案例 | Ariane 6

喷嘴头是助推器的核心组件之一,负责将燃料混合物输送入燃烧室。在传统设计中,该组件由 248 个零部件构成,而这些零部件通过各种制造步骤生产、装配而成。采用铸造、铜焊、焊接与钻孔等不同的工艺步骤可能会带来缺点,从而可能导致在极端负荷下产生风险。此外,生产如此多的零部件也是一个十分耗时的复杂过程。在喷油器组件领域,传统的生产过程需要在铜套管中钻出 8000 余十字孔,然后用螺钉将铜套管精确地固到 122 个喷油器组件上,以便将其中流动的氢气与氧气混合。

借助 EOS 基于粉床的工业 3D 打印技术,可将 122 个喷油嘴、基板和前面板、带有相应进料 管的圆顶氢气氧气燃料输送头打印为单个集成组件。以 AiO 喷嘴头为例,与单激光器系统相比, EOS M 400-4 多激光器系统生产率明显更高,可将成型时间缩短至 1/4,并将成本降低 50%。

PBF 激光加工技术

火箭





一体化结构实现案例 | AEHF卫星

PBF 激光加工技术

卫星

2017年4月,洛克希德·马丁为美国空军发射的第六颗"先进极高频"(AEHF-6)卫星提供了3D打印的Remote Interface Unit的铝制航空电子设备外壳。Remote Interface Unit是激光粉末床熔化技术制造的。通过3D打印技术使得一个组件替换原来的多个部件。这样就减少了设计和生产周期,将原型机原来六个月的制造时间缩短为一个半月,生产时间从12小时缩短为3小时。此外,洛克希德·马丁还在研究包括用于A2100卫星平台的大型3D打印油箱。

2017年8月洛克希德·马丁宣布投资3亿美金建设一个全球领先的卫星生产中心,这里面将安装最先进的工业级3D打印机。该工厂名为GatewayCenter,工程将与2020年完成。



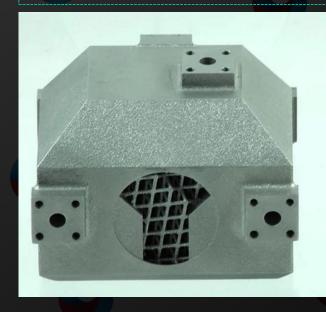
一体化结构实现案例 | 一体化天线

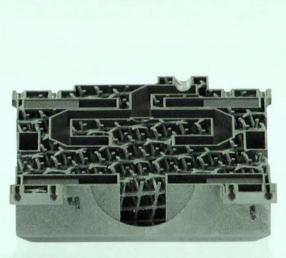
PBF 激光加工技术

卫星

天线被广泛应用在商用飞机、军用飞机、卫星,无人机以及地面上的电子终端中。 然而,目前的天线,特别是航空航天中使用的RF天线,在重量方面还需要进一步减轻,天线的设计也有继续优化的空间。

Optisys公司采用的天线制造方式是通过选择性激光熔化金属3D打印机进行天线的直接制造。这种功能集成式的3D打印天线,相比传统工艺制造的天线重量降低了95%以上,交货期由11个月减少为2个月,生产成本减少了20%-25%。







一体化结构实现案例 | 集成推进系统

卫星

2014年,Aerojet Rocketdyne成功完成了对MPS-120 CubeSat高冲击可适应模块推进系统(简称MPS-120)的点火试验。这也是该公司首次3D打印的肼推进剂集成推进系统。它的设计目标是为微型CubeSat卫星提供动力。

MPS-120系统包括四个小型火箭发动机和给料系统组件、一个3D打印的钛活塞、推进剂贮箱和压力箱。MPS-120可以兼容肼推进剂和绿色推进剂。MPS-120的整个机箱还没有一个咖啡杯大。MPS-120是Aerojet Rocketdyne公司首次3D打印的集成推进系统。该公司此前曾在其它的火箭项目中进行过进行了一些关于3D打印部件和发动机的点火测试。









一体化结构实现案例 | Banton 发动机

PBF 加工技术

火箭

2014年,航天军工领先制造商 GenCorp下属的 Aerojet Rocketdyne宣布,他们用3D打印技 术直接制造了一台完整的发动机并成 功通过测试。这是一台液氧/煤油发动 机,在Aerojet Rocketdyne公司内部 通常被称为"迷你型Banton"。因为 这是该公司生产的几款动力并没那么 强大的Banton发动机之一, 迷你型 Banton能够产生高达5000磅的推力。 使用增材制造,Banton发动机的零部 件数量急剧缩减到只有三个,其中包 括喉部和喷嘴部分、喷油器和圆顶组 件、燃烧室。



一体化结构实现案例 | SuperDraco火箭发动机推力室

PBF 激光加工技术

火箭

SpaceX于2013年就成功通过EOS金 属3D打印机制造SuperDraco火箭发 动机推力室,使用了镍铬高温合金材 料。与传统的发动机制造技术相比, 使用增材制造不仅能够显著地缩短火 箭发动机的交货期和并降低制造成本, 而相比传统制造发动机的成本,而且 可以实现"材料的高强度、延展性、 抗断裂性和低可变性等"优良属性。 这是一种非常复杂的发动机, 其中所 有的冷却通道、喷油头和节流系统都 很难制造。EOS能够打印非常高强度 的先进合金,是创造SuperDraco发动 机的关键。



一体化结构实现案例 I 猎鹰9号氧化剂阀体

2017年1月, SpaceX在加 州范登堡空军基地成功发 射了一枚猎鹰9号火箭, 猎鹰9号火箭上含有大量 的3D打印零件,包括关键 的氧化剂阀体,3D打印的 阀体成功操作了高压液态 氧在高震动情况下的正常 运行。与传统铸造件相比, 3D打印阀体具有优异的强 度、延展性和抗断裂性。 并且与典型铸件周期以月 来计算相比,3D打印阀体 在两天内就完成了。



PBF 激光加工技术

火箭



一体化结构实现案例 | BE-4火箭发动机

Blue Origin采用3D打印技术来打印BE-4火箭发动机的壳体、涡轮、喷嘴、转子。BE-4是以液化天然气为燃料的新一代火箭发动机。BE-4除了主泵提供的推力,还通过几个"升压"涡轮泵,混合液态氧和天然气从而提供500000磅的推力。3D打印在发动机的生产中发挥了关键作用,更令人大开眼界。Blue Origin的Ox Boost Pump增压泵(OBP)设计利用增材制造技术制造出许多关键部件,从单一的3D打印铝件,到镍合金液压涡轮。

PBF 电子束加工技术 火箭





一体化结构实现案例 | BE-4火箭发动机

PBF 激光加工技术

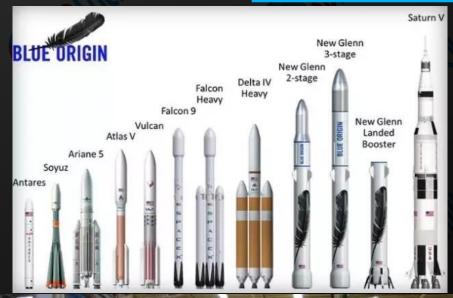
DED 定向沉积技术

火箭



从单一的3D打印铝件,到镍合金液压涡轮。增材制造方法允许集成复杂的内部流道到设计中,这是难以通过传统制造技术制造出来的。涡轮喷嘴和转子也通过3D打印出来,仅仅需要很小的后期加工就可以满足精度要求。

除了Blue Origin新的格伦New Glenn火箭发射器,BE-4火箭发动机还可以被用在火神火箭发射器上,该火箭发射器是由联合发射联盟(ULA)开发的。





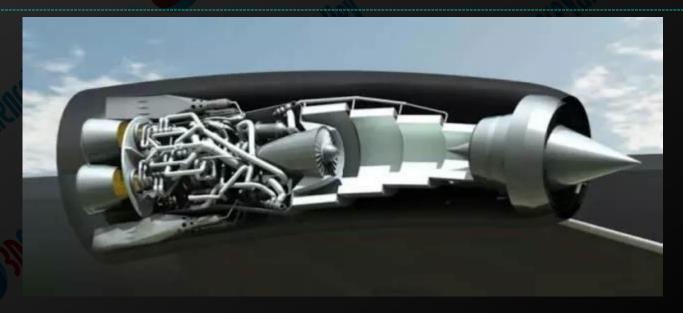
一体化结构实现案例 I 军刀引擎喷油嘴

PBF 加工技术

飞行器

空间飞行器大致可以分为两大类:有翼飞行器和弹道火箭。在太空竞赛的早期,两者都被认为是进入地球轨道的可行办法。然而,在工程和经济上,两者的太空旅行理念却呈现出了巨大的差异。

新型 "军刀" 引擎的一大亮点是3D打印的喷油器,该喷油器使得引擎在不到0.01秒中就可以得到急速降温。正是喷油器的作用使得Skylon有翼飞行器达到高达五倍音速的速度,直接飞到地球的轨道。这意味着航天飞机可以像普通飞机一样起飞、飞行和着陆。



一体化结构实现案例 I FBG传感器

Sheet Lamination 加工技术

FBG传感器是一种光纤光栅传感器,可以精准的测量位移、速度、加速度、温度。2016年美国航空航天局(NASA)兰利研究中心与Fabrisonic 公司合作,使用Fabrisonic的UAM 3D打印机将FGB 传感器嵌入到金属零部件中,以长期监测零件的应变。

在金属3D打印的过程中会产生高温,这将会导致嵌入的FBG 传感器失去敏感性。因此,制造嵌入传感器的智能金属零部件,需要使用低温的制造技术。Fabrisonic 公司的UAM 3D打印机的独特之处在于使用了一种将超声波焊接与CNC结合起来的技术。UAM工艺主要使用使用超声波去熔融用普通金属薄片拉出的金属层,从而完成3D打印。这种方法能够实现真正冶金学意义上的粘合,并可以使用各种金属材料如铝、铜、不锈钢和钛等。在制造过程中温度低于200华氏度,在这样的温度环境下嵌入传感器可以避免传感器被损坏。

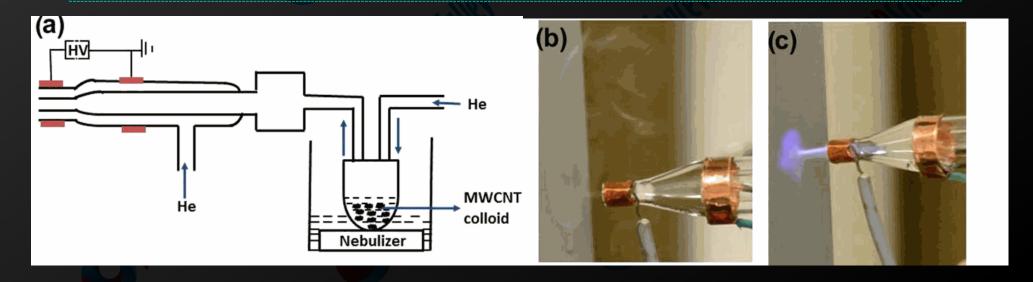




一体化结构实现案例 | 电子结构件

NASA Ames研究中心和美国SLAC国家加速器实验室研究人员开发出了一种在柔性基板上打印纳米材料的工艺。该技术打印等离子材料并不需要进行热处理,整个过程只需要40摄氏度左右的温度。该技术为更便利的在曲面上制造可穿戴设备、生物传感器、数据存储器和集成电路之类的装置,曲面基板的材料甚至可以是纸、布、棉花等柔性材料。可以做到这些的关键因素是等离子体。

这种3D打印新工艺非常灵活,只需要配置更多的打印喷嘴即可进行大表面的3D打印。目前研究团队正在开发其他的3D打印材料,比如铜。通过该技术还能够将电池材料打印到很薄的金属(比如铝)板上,然后将该金属板卷起来,制造出体积小但是功能强大的电池,以应用在手机或者其他设备上。





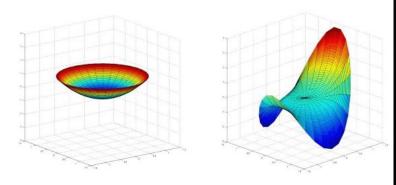
一体化结构实现案例 | 光学镜头

随着麻省理工的3D打印玻璃技术的面世,NASA 又进入了3D打印望远镜的反射镜领域。作为新的 光学工程研究的一部分,NASA 哥达德太空飞行 中心的一个团队正在规划为下一代的双镜面设备 3D打印任意曲面的反射镜。

NASA最新的光学突破,可以创造几乎任何形状的望远镜放射镜,比以往任何时候提供更好的图像质量。

NASA将致力于全3D打印完整的成像望远镜。研究小组认为,这种3D打印的方法可以改变系外行星成像的游戏规则。光学自由曲面将至关重要。一方面使得望远镜拥有更大的视野,而且适合尺寸有限的包装,比如现在流行的小卫星或者立方体卫星等,或者能够为航天器节省出更多的空间。





一体化结构实现案例 I 涡轮泵

PBF 激光加工技术

火箭

2015年,美国航空航天局3D打印的最复杂的火箭零部件,因为涡轮泵自身转速高达每分钟9万转,它的主要工作是抽取液氢推进剂给火箭发动机。NASA在阿拉巴马州的航天中心进行了测试。

3D打印出来的涡轮泵当中快速旋转涡轮机产生超过2000马力。该组件测试了15种不同的运行过程中,并能实现满功率每分钟提供1200加仑低温液态氢,足够驱动一个火箭发动机产生35000磅推力。

这种采用选择性激光熔化的3D打印技术 生产的涡轮泵与传统的焊接和装配技术相 比,原材料消耗可以减少45%。



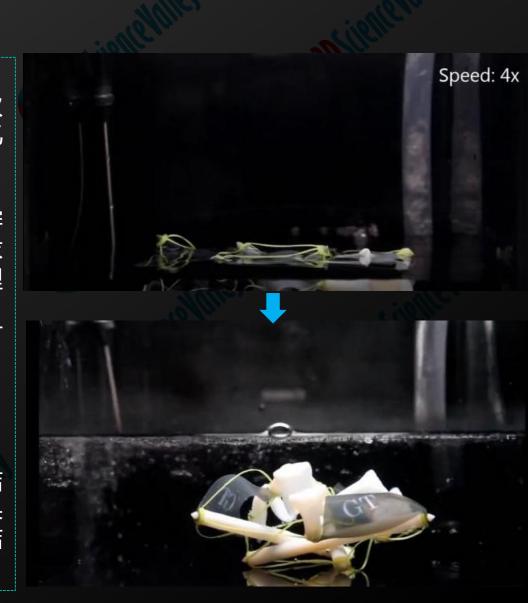


一体化结构实现案例 I 4D打印

2017年乔治亚理工学院开发了一种"记忆"形状,可以在特定的温度情况下一次又一次的回到原来的状态,这种形状记忆4D打印或为太空探索铺平道路。

到空间中的物体的重量和所占体积对于穿梭任务来说是非常重要的,科学家们追求越紧凑越不占空间的解决方案。乔治亚理工学院通过3D打印机创建小型结构,以便在暴露于热量的时候延展,这种思路可以拓展到空间应用。

结构完全由一系列3D打印机创建并组装起来,当放置在149度水中浸泡时,它们开始展开。这是一种灵活的材料,这些结构将能够神奇的恢复到原来的状态,如果一切顺利,这项技术最终可以用于空间结构和机器人以及各种生物医学设备。





拓扑优化 3D打印在航天领域的应用价值

拓扑优化结构



拓扑优化对原始零件进行了材料的再分配,往往能实现基于减重要求的功能最优化。拓扑优化后的异形结构经过仿真分析完成最终的建模,这些设计往往无法通过传统加工方式加工,而通过3D打印则可以实现。通常3D打印出来的产品与传统工艺制造出来的零件还需要组装在一起,所以设计的同时还需要考虑两种零件结合部位的设计。

拓扑优化是缩短增材制造设计过程的重要手段,通过拓扑优化来确定和去除那些不影响零件刚性的部位的材料。拓扑方法确定在一个确定的设计领域内最佳的材料分布:包括边界条件、预张力,以及负载等目标。

参考:铂力特



42 拓扑优化结构

中国空间技术研究院总体部设备支架

PBF 激光加工技术

卫星

减重40%

减重67%

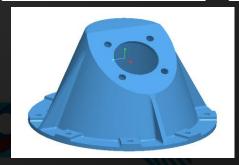
初始设计

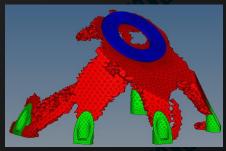
拓扑优化

优化设计

优化设计

最初重量 1.1kg 优化理论 1.066kg 设计重量 **693**g 设计重量 360g











拓扑优化结构

PBF 激光加工技术

卫星

RUAG Space为未来的Sentinel-1卫星配备由工业级3D打印机制造的天线支架。RUAG Space选择了Altair产品开发部门对其3D打印流程的设计提供支持。借助拓扑优化方法,制造商可确定哪些材料在结构中是必不可少的,而哪些材料在移除后不会对性能造成负面影响,并就此来减轻重量。通过优化过程可确定理想的材料布局,而通过3D打印技术则可构造出更接近这一理想设计的形状。





拓扑优化结构

PBF 激光加工技术

卫星

Thales Alenia 宇航公司将欧洲最大的3D 打印航天器部件应用在Koreasat 5A和 Koreasat 7通讯卫星上,通过Concept Laser选择性激光熔融粉末床增材制造技术 来制造,是由泰雷兹阿莱尼亚宇航公司

(Thales Alenia Space) 和法国3D 打印服务公司 Poly-Shape SAS共同合作制造的。尺寸为 447 x 204.5 x 391 mm, 重量却只有 1.13 kg, 可以称得上是真正的轻量化部件。与传统结构相比,仿生的增材制造结构重量减轻了 22%。更重要的是,生产效率极大提高的同时,成本还下降了30%





避免大余量切除 3D打印在航天领域的应用价值



替代锻造的趋势

EBAM电子束焊接和RPD快速等离子沉积技术将会影响锻造业在航空航天领域的应用。

当前20到35%的结构件, 30到45%的发动机零件是 由锻造而成,而后期的结构 件机加工带来70%以上的余 量去除。

3D打印可以节约50%以上的材料去除率。



DED 定向沉积技术

火箭

替代锻造的趋势

2017年6月,GKN航空航天公司宣布已经向法国的空中客车和赛峰集团提供了先进的Ariane 6号火箭喷嘴(SWAN)。

直径为2.5米,喷嘴采用创新技术制造而成,性能更高,交货时间更短,成本更低。通过激光焊接和激光定向能量沉积工艺对关键结构零部件进行加工,使得喷嘴的零部件数量减少了90%,从约1000个零部件减少到约100个零部件。并且降低了40%的成本,减少了30%的交货时间。

GKN航空航天事业部一共将为每个Ariane 6号 火箭提供五个复杂的子系统,包括发动机的涡 轮机组件,以及氢气和氧气燃料系统发电装置 内的组件。



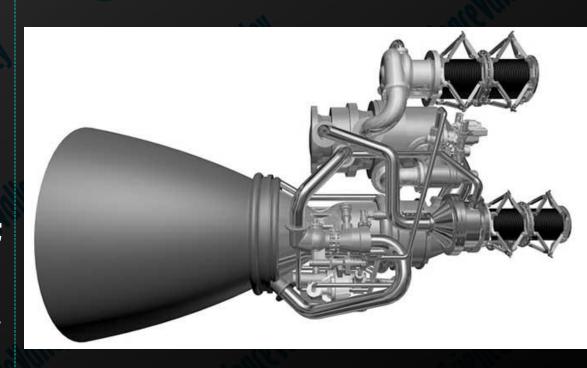


避免大余量切除 I AR1 发动机喷油嘴

火箭

2015年3月, Aerojet Rocketdyne公司在其萨克拉门托测试中心成功完成了对其AR1增压发动机关键部件的热点火测试。AR1火箭发动机的单冲量(single-element)主喷油嘴是完全使用3D打印机制造的。

AR1是一款正在开发中的50万磅推力级的液氧/煤油发动机,美国希望用它来替代俄罗斯的RD-180发动机。根据2015年美国国防授权法案的要求,为了美国国家安全的考虑。到2019年之前美国制造的替代产品要完全取代俄罗斯的RD-180发动机,并可用于火箭发射。





避免大余量切除INASA下一代火箭发动机零部件

NASA通过美国俄勒冈州的Metal Technology (MTI) 公司为NASA旗 下的Johnson太空中心生产Inconel 718合金部件。Inconel 718合金在 650度以下的屈服强度居变形高温合 金的首位,并具有良好的抗疲劳、抗辐 射、抗氧化、耐腐蚀性能。

Inconel 718合金组织对热加工工艺特别敏感,加工者需要掌握合金中相析出和熔化规律及组织与工艺、性能间的相互关系,来开发出可行的工艺,才能制造出满足不同强度级别和使用要求的零件。Inconel 718合金的盘类、环类、叶片、轴类和壳体部件被用于下一代火箭发动机零部件。





避免大余量切除 | 航天结构件

对于洛克希德马丁空间系统来说,EBAM电子 束增材制造最有价值的特点是闭环控制,实时 质量监测与反馈。此外,大型锻造压力机的生 产能力是有限的,通常要锻造一个罐顶锻件经 常需要排队等待几个月,12个月的交货期是常 态。相比之下,通过EBAM电子束增材制造的 方法(直径16英寸的圆顶)在短短的3小时内 就可以制造出来。当然这个圆顶仍然需要后期 的热处理,以及机械精加工,并且还需要与另 个圆顶焊接起来。所有的周期加到一起与锻 造的时间相比仍然是显著缩短的。钛合金推进 器容器的锻造不是近净型的,这意味着锻件的 大部分材料都要被机械加工去除,以达到成品 零件的要求。这就增加了机加工本身的成本和 被机械加工去除的材料成本。3D科学谷认为 EBAM电子束增材制造的结果是近净型的,虽 然也需要后期的机加工,但是材料去除率与锻 件相比是相当少的。

DED 定向沉积技术

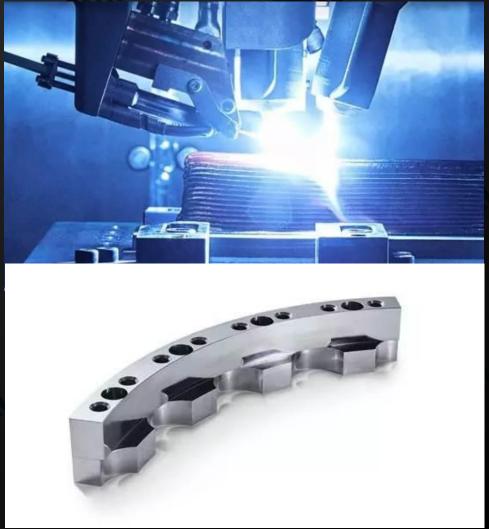




避免大余量切除 | 航天结构件

Norsk Titanium成功通过测试使其成 为Thales Alenia Space产品线中通过 增材制造结构部件的领先供应商。采 用快速等离子体沉积 (RPD™) 技术 可使Thales Alenia Space提高运营绩 效,并将缩短交货期。Norsk Titanium的制造技术通过了FAA认证, 是波音公司的一级供应商。除了大型 航空航天业制造商, 航空航天零件供 应商Spirit AeroSystems与Norsk Titanium达成合作伙伴关系。Spirit AeroSystems的核心产品包括机身、 塔架、机舱和机翼部件, Spirit AeroSystems生产了成千上万的钛零 件, 预计至少有30%的零件可以通过 Norsk Titanium的快速等离子沉积™ 技术来制造。

DED 定向沉积技术





空间打印 3D打印在航天领域的应用价值

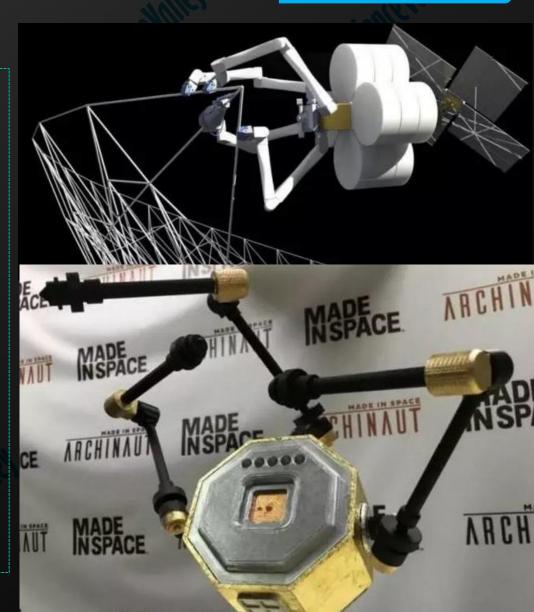


空间打印丨航天器零件

航天器

Made In Space正在与航天机构合作进行 Archinaut设备的开发工作,Made In Space的愿景是通过设备中集成的3D打印 机与自动化机械臂,在太空轨道上直接进 行航天器零部件的制造和装配。

Made In Space公司表示,如果在地球上 制造航天器, 航天器上的结构需要被折叠 起来,等到送入太空之后再展开。 Archinaut具有的一个优势是直接在太空 中进行制造,无需折叠。在打印材料足够 充分的情况下,可以制造出非常大的航天 器。这种太空直接制造的方式,也减少了 对航空器进行"空间优化"的需求,实现 全新的航天器设计,同时减少太空发射的 成本。未来,Archinaut也可以用于制造 和装配卫星中需要升级的零部件。





空间打印 I 金属3D打印

伯明翰大学研发的微重力金属3D打印机可以进行铝金属的3D打印,而打印材料并不是铝金属粉末,而是铝金属丝材,金属丝材的3D打印技术为直接能量沉积(DED)3D打印技术。在打印中铝金属丝材被送入3D打印机,加热至其熔点,并挤压成指定形状。随着铝冷却,其表面张力会使打印材料逐层融合在一起,在这个过程中不需要依靠重力。

一个需要考虑到的问题是金属3D打印机在国际空间站中的供电需求,研究团队需要确保金属3D打印机的功率小于1500瓦,现阶段研发出的微重力金属3D打印机已实现这个目标,该设备的功率为1300瓦,比一些厨用电热水壶的功率还要小。

英国伯明翰大学先进材料和工艺实验室(AMP Lab)的科学家团队已经研发出微重力金属3D打印机,在条件成熟的情况下这台金属3D打印机也将被到国际空间站中。



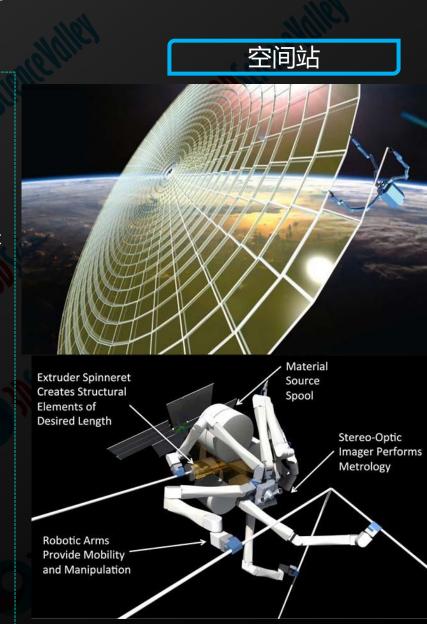


空间打印 | SpiderFab蜘蛛在轨制造空间结构

不用将整个空间结构送入太空,未来火箭可能仅需搭载原材料,然后在轨道上由"蜘蛛制造"系统建造而成。比起平整包装的碳纤维片材,一个完整的无线电天线将占据更多空间。人类很快将能像蜘蛛在地面织网一样,在太空中建造巨大的空间结构。在NASA的资助下,系绳无限公司(Tethers Unlimited)正在研发称为"蜘蛛制造"(SpiderFab)的太空制造系统,可利用蜘蛛形机器人在太空中集成大型空间结构。

在轨道上,机器人利用这些材料建造桁架子结构,并将这些子结构组装并集成为大型系统。这种方法的潜在效益很多,主要是可以部署比当前火箭整流罩尺寸大得多的孔径和基线等空间结构。

"蜘蛛制造"系统运行方式 "蜘蛛制造"概念的核心是一个多臂机器人,该机器人部署到太空以建造空间结构组件,从一个"喷丝器"排出并熔合碳纤维条,像地球上织网的蜘蛛一样沿着桁架网络爬动,最终对这些组件进行集成,制造出整个物体。

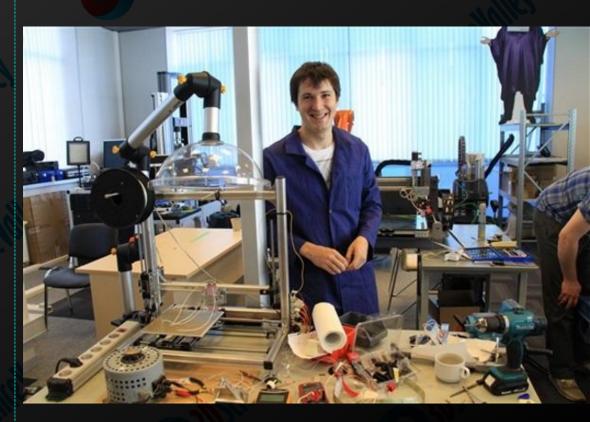




空间打印丨碳纤维增强卫星部件

俄罗斯的一个团队在开发可用在国际空间站(ISS)上的碳纤维增强塑料3D打印技术。该3D打印机将使用复合打印材料为空间站上的微型卫星CubeSat制造技术部件,其具体应用是用于可以用来制造反射器、天线、太阳能电池板。这一点与"蜘蛛制造"系统的具体应用有些类似。

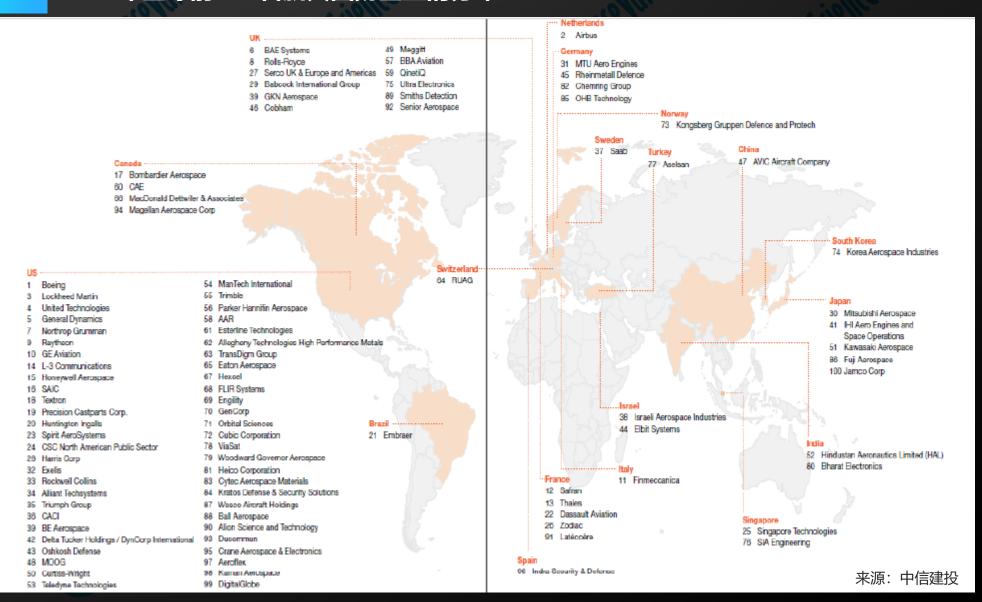
项目的参与者包括Skolkovo基金会的 Sputnix和Anisoprint和莫斯科理工大 学等。Sputnix专门从事高科技微卫星 组件开发,Anisoprint主要生产纤维增 强的高性能塑料。俄罗斯研发团队的计 划是将热塑性塑料与碳纤维两种材料结 合起来打印,并最终能够3D打印小卫 星的部件,与传统的热塑性塑料相比, 这种新材料据说能够将硬度提高十倍, 卫星







2014年全球前100名航天国防企业的分布

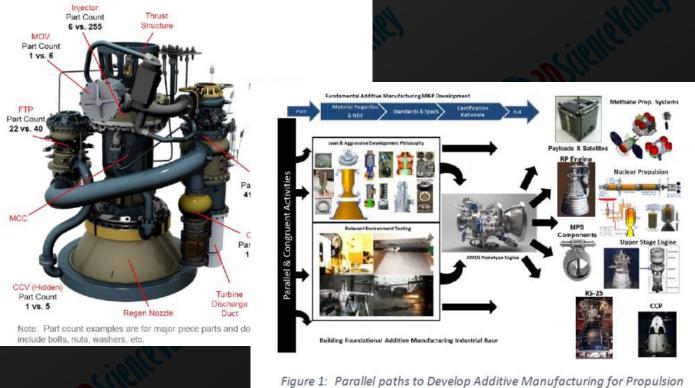




3D打印领域活跃度高的航天国防机构与企业



美国国家航空航天局 (NASA) ,是美国联邦政府的一个行政性科研机构,负责制定、 实施美国的民用太空计划与开展航空科学暨太空科学的研究。美国航天局至今已经成 为地球上最权威的航天局,与许多美国国内及国际上的科研机构分享其研究数据。



NASA与2012年启动了 **AMDE-Additive** Manufacturing Demonstrator Engine 增材制造验证机的计划, 3D科学谷了解到原因是 因为NASA认为3D打印 在制造液态氢火箭发动机 方面颇具潜力。在3年内 团队通过增材制造出100 多个零件.并设计了-可以通过3D打印来完成 的发动机原型。 3D打印,零件的数量可 以减少80%,并且仅仅需 要30处焊接。



3D打印领域活跃度高的航天国防机构与企业



欧洲航天局(ESA, 简称欧空局)成立于 1975年,是一个致力于探索太空的政府间 组织,拥有22个成员国,总部设在法国巴黎。 欧洲航天局的太空飞行计划包括载人航天 (主要通过参与国际空间站计划)。



欧洲航天局提出利用3D打印技术借助月球泥土(名为月壤)创造一系列永久房屋结构-"广寒宫村",欧洲空间局又与英国喷气引擎公司合作设计Skylon有翼飞行器,其"军刀"引擎的一大亮点是3D打印的喷油器,该喷油器使得引擎在不到0.01秒中就可以得到急速降温。航天飞机可以像普通飞机一样起飞、飞行和着陆。

2016年,欧洲航天局在英国基地牛津郡的哈威尔建立了一个新的先进制造实验室,在那里将研究3D打印等先进制造技术用于空间探索的可能性。欧洲空间局的实验室配备先进的金属3D打印机、强大的显微镜套件、X射线CT机,以及一系列的热处理加热炉。这里研究人员将很方便的进行先进的力学试验,包括拉伸、显微硬度测试。2017年欧洲航天局(ESA)与位于考文垂的英国制造技术中心(MTC)合作,建立了一个"一站式"空间相关应用增材制造中心—ESA增材制造中心(AMBC),该新中心由MTC管理,使得ESA和其他空间探索公司能够探索某些项目的3D打印潜力。

3D打印领域活跃度高的航天国防机构与企业



GKN (吉凯恩集团) 是全球性的工程服务公司,包括航空航天、汽车传动系统、粉末冶金和地面特种车辆四大业务板块。通过多次收购,GKN航空航天业务板块逐渐建立起世界级的服务能力。

围绕着强大的航空航天业务版图,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 Trollhätten增材制造卓越中心, GKN英国 Filton增材制造卓越中心。



3D打印领域活跃度高的航天国防机构与企业

2012年11月GE收购MORRIS Technologies 以及其兄弟公司Rapid Quality Manufacturing。



2013年8月GE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2016年5月,GE还在其位于意大利塔拉莫纳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。

2016年四月,GE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。

ISTANBUL, TURKEY	⊕ ⊕	BROMONT, CANADA	\oplus	DAYTON, OHIO	\oplus	MUNICH, GERMANY	\oplus
AUBURN, ALABAMA	⊕	PRAGUE, CZECH REPUBLIC	\oplus	TALAMONA, ITALY	\oplus	PITTSBURGH, PENNSYLVANIA	\oplus
BANGALORE, INDIA	\oplus	RIO DE JANEIRO, BRAZIL	\oplus	CAMERI, ITALY	\oplus	OKLAHOMA CITY, OKLAHOMA	\oplus
KARIWA, JAPAN	⊕ (FLORENCE, ITALY	\oplus	GREENVILLE, SOUTH CAROLINA	\oplus	BIRR, SWITZERLAND	\oplus
		NISKAYUNA, NEW YORK	\oplus	CINCINNATI, OHIO	\oplus		



3D打印领域活跃度高的航天国防机构与企业



NASA的机器人装配和服务商业基础设施 (CIRAS) 计划是致力于推进大型结构在 <u>轨制造和组装技术的计划,将有助于该机构实现其探索太阳系统的目标。</u>

CIRAS计划由Orbital ATK牵头,是美国宇航局空间机器人制造和装配(IRMA)计划下的三个项目计划之一。 Orbital ATK公司的Cygnus宇宙飞船曾在2016年携带3D打印机器臂登陆国际空间站。

COSM先进制造系统项目加入到CIRAS团队,设计了用于空间内自主组装应用的电子束3D金属打印系统。COSM还开发为大型商业、空间和航空应用中的终端用户提供原位计量和自适应过程控制的系统。

COSM的贡献基于原来的工作基础上,他们与 NASA兰利研究中心的电子束自由形式制造(EBF3) 计划合作,该计划使用电子束来提高在航空航天工 业中金属3D打印的使用,包括钛、铬镍铁合金和铝。





3D打印领域活跃度高的航天国防机构与企业



波音公司是全球航空航天业的领袖公司,也是世界上最大的民用和军用飞机制造商之一。此外,波音公司设计并制造旋翼飞机、电子和防御系统、导弹、卫星、发射装置、以及先进的信息和通讯系统。波音公司运营着航天飞机和国际空间站。



洛克希德·马丁空间系统,在航空、航天、电子领域均居世界前列,也是主要战斗机制造商。洛克希德·马丁空间系统控制着美国全部军用卫星的生产及发射业务;在导弹方面,是美国洲际导弹的主要制造商。同时,将在战略导弹系统、战略导弹防御系统、战术导弹系统、反坦克导弹及机载电子设备方面拥有优势。



空中客车航天业务将旗下通信业务和部分子公司出售,将经营重点专注于空间与防务业务。空中客车防务与航天部门将其空间、导弹以及与之相关的系统和服务业务定位为核心业务



联合技术公司是世界最大的制造公司之一,主要为全球航空航天和建筑业提供高技术的产品和服务。联合技术下共有7个子公司和1个直属研究机构。联合技术研究中心(UTRC)是直属UTC的研究机构,在许多重要的技术领域中,占据全球领先地位。



重点航天国防机构与企业

GENERAL DYNAMICS

通用动力是家综合性防务集团公司,总部在弗吉尼亚州福尔斯彻奇市郊。通用动力是美国最大的军火商,也是国防承包商之一,它的产业分为四大领域,一是航海设备,主要是制造军舰和核潜艇;二是航空领域,包括商用飞机和战斗机;三是信息系统和技术部门;四是攻击性武器的制造。

NORTHROP GRUMMAN

Northrop Grumman诺斯罗普·格鲁曼是一家全球领先的安全公司,在美国军事工业领域享有盛誉,约有员工120,000名,业务主要涉及航空航天、电子、信息系统、船舶制造等,航空航天系统部主要负责生产提供有人和无人驾驶飞机,空间系统设备,导弹系统设备,与各种相关技术。



"劳斯莱斯"和"罗尔斯·罗伊斯"均由英文 Rolls-Royce翻译而来,二者的不同在于:生产 汽车的叫劳斯莱斯,生产发动机的叫"罗尔斯·罗 伊斯"。罗尔斯·罗伊斯是世界三大航空发动机生 产商之一。

BAE SYSTEMS

BAE系统公司是1999年11月由英国航空航天公司 (BAe)和马可尼电子系统公司 (Marconi Electronic Systems)合并而成的。 2000年,在世界100家最大军品公司中居第三位。

2016年BAE系统公司宣布他们正在开发一款基于 化学反应的Chemputer,这款3D打印机可以在短 短几天之内从无到有"生长"出高度先进的定制 化无人机。

重点航天国防机构与企业

Raytheon

Raytheon雷神公司是美国的大型国防合约商,总部设在马萨诸塞州的沃尔瑟姆。雷神在世界各地的雇员有73,000名。雷神公司先后兼购了E-系统公司,德州仪器公司的国防系统部门,休斯飞机公司。雷神将其核心业务集中在三个领域:国防和商务电子、商用和特殊使命的飞机以及工程与建筑。

MOOG

MOOG穆格公司最初从事飞机与导弹部件的设计及供应。如今,MOOG的运动控制技术广泛应用于民用机座舱、发电风机、一级方程式赛车、医用输液系统等众多的市场和应用领域,有效提高相关产品的性能。

RUAG

RUAG Space 是欧洲最大的航空航天产品供应商。在瑞典 Linköping, RUAG 产品广泛用于欧洲卫星发射器中: 例如阿丽亚娜, 阿特拉斯和达美等。公司生产的适配器专门用于火箭和卫星分离系统 - 这是成功发射的关键。分离系统将适配器固定到卫星上, 直到其被释放分离。



MTU是德国领先的开发商、制造商,并且为民用和军用的航空发动机部件,组件和工业燃气涡轮提供维修发展服务。MTU与世界领先的系统集成商和制造商保持合作,包括惠普公司(美国),通用电气(美国),劳斯莱斯(英国),斯奈克玛(法国),沃尔沃(瑞典),和菲亚特艾维欧(意大利)。

重点航天国防机构与企业





Orbital Science美国轨道科学公司 (OSC) 是一家航天和信息系统公司,是航天工业界最 活跃的火箭和空间系统研制生产商之一。目前 OSC还为美国航空航天局研制的安装有发射逃 逸系统的"奥利安"载人空间探测飞船。



达索飞机制造公司(Dassault Aviation)总部位于法国巴黎,是法国第二大飞机制造公司,在1967年,由法国的两家主要军用飞机制造商——马塞尔.达索飞机制造公司与布雷盖飞机制造公司合并而成。 达索飞机制造公司主要从事军用飞机、民用飞机和航天产品的研发与制造。



赛峰(SAFRAN)集团是一家高科技的跨国集团公司,世界500强企业之一,拥有四大核心专业:航空航天推进,航空航天设备,防务-安全和通讯。其麾下的斯奈克玛公司主营业务为航空器动力装置研制生产,承担了欧洲阿丽亚娜1-5型火箭及液体助推器所用推进系统的设计和研制工作。

THALES

法国泰雷兹集团(Thales)成立于1968年,该集团的主要业务大多与军事有关,自2000年收购了英国的Racal公司后,泰雷兹集团业务不断拓宽,民用业务不断增长,现在已经发展成为以设计、开发与生产航空、防御和信息技术服务产品著称的专业电子高科技公司



航陕

天动力

技科

|| || || || || || ||

限

公司

65

中

国 运 载

火

箭

技

术

研

究

院

航天科技集团组织架构

中

国空间技

术

研

究

院

科研生产联合体

航中

天国

推长

进江

技动

术力

研集

究团

院有

限

公司

四四

航航

天天

技工

术业

研集

究团

院有

限

公司

海海

航航

天天

技工

术业

研集

究团

院有

限公司

航天投资控

股有限公司

专业公司

中国航天国际控股有限公司

航天时

代置业发展有限公司

航天长征国际贸易有

l 限公司

中国四维测绘技术有限公司

四维集团

航天科技 财务有限公司

中国长城工业集团有限 · 公司

中

国乐凯集团有限公司

乐凯

胶片

中 国卫通集团有限 天空气 动力技术研 公司

中国航 中 · 国 航 天电子技术 研究院 究院

> 航天 电 子

卫星

航 天 机 电

航 中 天动力 玉 卫 星

中 国航 天万源 航天控 股 Н

亚太



航天科技集团研究所

航天科技集团科研院所

名称	简称	城市	核心业务
运载火箭技术研究院	一院	北京	运载火箭
航天动力技术研究院	四院	西安	固体火箭发动机
中国空间技术研究院	五院	北京	航天器、卫星平台及部件
航天推进技术研究院	六院	西安	液体火箭发动机
四川航天技术研究院	七院	成都	火箭武器系统
上海航天技术研究院	八院	上海	应用卫星、运载火箭、载人飞船
中国航天电子技术研究院	九院	北京	惯性导航、遥测遥控、机电组件、微电子
中国乐凯集团有限公司		保定	膜材料、涂层材料
中国思维测绘技术有限公司		北京	卫星导航定位监控、导航电子地图



航天科工集团构架 67

中国航 天 科 集 团 第 研 究

院

中 中 · 国 航 · 国 航 天 天 八 科 工 科 工 集团第二

集团第三研 究 院

研

究

院

中 中 · 国 航 国航

天 天 入 科 工 科 集团第六 团 第 四 研 研 究 究 院 院

中

国航 天 建 设 集 团 有 限 公

中 中 · 国 航

天

科

主集团

第第

研

究

· 国 航 天 科 工集团 0 六 . 八 基

地

航

天科工

深

圳集

团

有

限

公司

中国华腾工 <u>业</u> 有 限 公司

中 · 国 航

天汽车有 1限责任 公司

河南航 航 天精工有 天工业总公司 限 公司

航天云网科技发展有限责任

公司

上市公司

航天信息 股份有限公 司

航天通信 控股集团股 份有限公司

航天晨光 股份有限公 司

航天工业 发展股份 有限公司

北京航天 长峰股份 有限公司

航天科技 控股集团股 份有限公司 贵州航天电 器股份有限 公司

航天科技集团主营业务

航天科工集团主要下属单位

	·· - · · · · · · · · · · · · · · · · ·		
名称	简称	城市	核心业务
信息技术研究院	一院	北京	小卫星及卫星应用
防御技术研究院	二院	北京	控制制导、探测跟踪、地面设备、测量设备
飞航技术研究院	三院	北京	飞航导弹
运载技术研究院	四院	北京	地地导弹武器系统、固体运载火箭
动力技术研究院	六院	呼和浩特	固体火箭发动机
湖北航天技术研究院	九院	武汉	导弹武器系统
贵州航天工业公司	061基地	遵义	电源、继电器、电连接器

软件

Altair



Altair的拓扑优化技术与仿真 技术结合, 使得设计师只需要 给出载荷和工况, 软件将提供 最高效能的结构设计。 solidThinking Inspire使用了 OptiStruct 的优化求解器,保 证优化结果的正确性; solidThinking Evolve 高度 融合的建模软件可以提供精确 的NURBS(非均匀有理化B样 条) 曲面及实体建模, 并且在 这其中又整合了高自由度的多 边形建模方式。

Altair的Hypermesh高性能有 限元前处理器颇受用户赞誉。

Autodesk Within



主要通过一种优化的引擎获取输入参数:比如重 量、最大应力和位移等。并生成带有"可变密度 晶格结构和表面外观"的设计。而最后的对象可 以根据严格的规格进行调整,最终所得的组件将 优于使用传统方法设计出来的部件。

Frustum



基于云的拓扑优化软件Generate。这家公司被西 门子投资,西门子通过Frustum为其西门子NX软 件提供拓扑优化生成器。



此外,西门子NX还与Materialise的增材制造技术 的无缝衔接和关联,包括点阵技术、支撑结构设计、 构建托盘准备、构建处理器框架等。

软件

Materialise



针对3D打印 Materialise 3-matic 可以通过创建 3D 纹理、轻量化模型和流道结构来改进设计,实现更复杂的建模。Materialise 3-matic Structures 轻量化模块可以帮助设计师轻松地优化设计并将其转换为轻量化组件。

Betatype



Betatype复杂点阵结构建模软件平台提供基于云的CAD / CAM解决方案,用来为3D打印实现诸如点阵结构这样的复杂的几何形状。

达索Ansys



ANSYS

ANSYS拓扑优化技术不需要人工定义优化参数,而是自动将材料分布当作优化参数。在进行拓扑优化分析时,同其他分析过程一样需要定义几何结构、有限元模型、载荷与边界条件等,然后定义优化的目标函数、约束参数。

nTopology

<u>nTopology</u>

nTopology发布了Element软件。设计师可以通过流行的CAD建模工具创建初始对象,然后,将设计导入到Element中,在这里通过创成式算法来完成更复杂的设计。可以通过沿着网格表面来设置特定函数来创建晶格、肋或细胞结构。



71 金属3D打印设备





金属材料



其他: Additive metal alloys, AMETEK, Argen Corporation, Ampall, ATI Specialty Materials, CVRM, Cooksen gold, Ecka Granuies, Equispheres, Eramet-Erasteel, Eutectix, Falcontech, Global Tungsten&Powders, H.C.Starck, Hoganas AB, NanoSteel, Osaka Titamnium, Praxiar Surface Technologies, Pyrogenesis, Legor Group, Questek Innovations, Tekna, TLS Technik, USD Powder, Valimet, VBN Components, Wolfmet Tungsten Alloys, and the major metal 3D Printers such as EOS, and Concept Laser...

关于更多高温合金3D打印,请参考3D科学谷发布的《3D 打印与高温合金白皮书》













西安铂力特、无锡飞尔康、中航迈特、宁波中物力拓超微材料、成都优材、浙江亚通焊材、上海材料所、广东省材料与加工研究所、深圳微纳增材技术、江苏天一超细金属粉末、河南黄河旋风...



塑料 I PA尼龙 73

SLS 3D打印技术:



FDM 3D打印技术:

Stratasys

Ultimaker Airwolf 3D Cosine Additive Roboze **DDD Material** eSun 深圳易生

Multi Jet Fusion

-多射流熔融:

HSS-高速激光烧结:





PA 3D 打印材料

EOS Evonik Farsoon

Stratasys Taulman 3D

迄今为止,选择性激光烧结粉末床-SLS工艺、多射流熔化-MJF工艺、高速烧结-HSS工艺中使用最广泛的塑料是聚酰胺 (PA) - 尼龙。尼龙比其他一些塑料 (如ABS) 更坚固, 耐用,虽然SLS设备厂商或其他3D打印技术设备制造商都提 供某种形式的PA,但目前最基本的品种是PA11和PA12,当 然也有许多类型的PA复合材料,包括玻璃增强尼龙、碳纤维 增强尼龙,以提供某些附加的性质。





塑料IPEEK

PEEK 3D打印机

SLS Technology

EOS materials: PEEK Hp3

FDM Technology

Indmatec from Germany
Tractus from Holland
Roboze from Italy
DDD Material from Germany

Other Technology

Arevo labs from USA Impossible Objects from USA

PEEK 3D Printing Material

Oxford performance materials Solvay

•••







EOS 3d printed implant



Arevo labs 3d printed automotive parts

Impossible Objects 3d printed implant

Major brands of worldwide PEEK plastics 全球主要的PEEK生产厂家













塑料IPEI

Stratasys ULTEM材料是一款设计用于恶劣环境的热塑性材料, 因其 FST 评级、高强度重量比以及现有认证,成为了航空航天、 汽车与军队应用产品的理想之选。设计和制造工程师能用它3D打 印高级功能原型以及最终用途零件。ULTEM 9085 和 ULTEM 9085 Aerospace 用于 Fortus 400mc、Fortus 450mc 和 Fortus 900mc 3D 打印机。 材料颜色为褐色,并使用剥离式支 撑材料。

FDM 打印技术

美国Stratasys, 材料: ULTEM 1010, 9085(from Sabic) 韩国Rokit, 材料:3DISON, ULTEM 9085







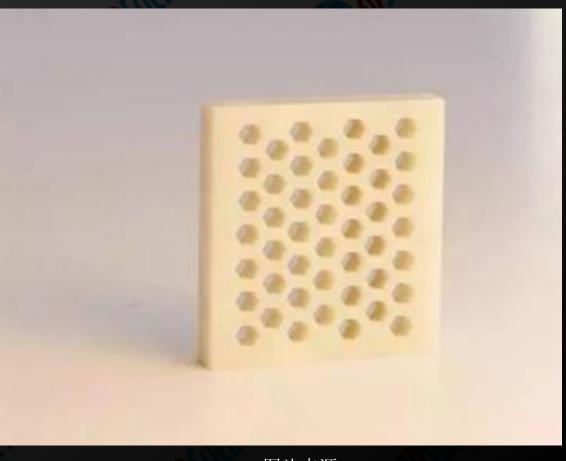


关于更多塑料3D打印,请参考3D科学谷发布的《3D打印与塑料白皮书》

陶瓷

Optomec气溶胶喷射技术用于感应器的制造是被证明的成熟技术,之前斯旺西大学的研究人员就通过Optomec气溶胶喷射技术直接打印应变和光学蠕变传感器,用在喷气发动机的压缩机叶片表面上。2017年,GE涡轮叶片上打印高温陶瓷传感器的专利获批,正是使用了Optomec的气溶胶喷射3D打印技术。

陶瓷3D打印领域活跃的机构还有德国 Fraunhofer陶瓷3D打印技术, Lithoz的 CeraFab 7500陶瓷3D打印技术, Xjet的 直接3D陶瓷喷射系统, Voxeljet的陶瓷 3D打印技术、庄信万丰的陶瓷3D打印技术。



图片来源: Xjet



碳纤维增强塑料

Impossible Objects能够将强度更高的材料用于3D打印塑料的力学性能增强用途,包括碳纤维、芳纶(Kevlar)和玻璃纤维等材料对塑料材料的增强。打印完成后的零部件要比那些使用传统热塑性材料3D打印出来的部件强度要高2倍—10倍。由于其独特的复合材料构成,用户也可以通过定制以用于各种应用,包括热和化学腐蚀等环境。

LLNL的工艺被称为改进型直接墨水书写 (DIW),也被称为robocasting。研究 人员开发出一种新的、专利的化学过程, 能在几秒钟内固化材料。LLNL的高性能 计算能力能准确地预测碳纤维丝流情况。



图片来源: Impossible Objects





	4011	
国家	品牌	主要技术
中国	铂力特	粉末床熔化-PBF,直接能量沉积-DED
中国	隆源	粉末床熔化-PBF,直接能量沉积-DED
	永年激光	粉末床熔化-PBF,直接能量沉积- DED
	易加三维	光固化工艺- VAT Photopolymerization,粉末床熔化-PBF
中国	华曙高科	粉末床熔化-PBF,选择性激光烧结-SLS
中国	恒通	光固化工艺- VAT Photopolymerization,粉末床熔化-PBF
	华科三维	光固化工艺- VAT Photopolymerization,粉末床熔化-PBF,选择性激光烧结-SLS
中国	联泰科技	光固化工艺- VAT Photopolymerization
	太尔时代	材料挤出工艺- Material extrusion
	盈普光电	选择性激光烧结-SLS
中国	武汉滨湖	光固化工艺- VAT Photopolymerization,粉末床熔化-PBF,选择性激光烧结-SL LOM层压技术
中国	中瑞科技	光固化工艺- VAT Photopolymerization,粉末床熔化-PBF 选择性激光烧结-SLS
中国	先临三维	材料挤出工艺- Material extrusion,生物打印
	闪铸科技	材料挤出工艺- Material extrusion
	武汉天昱	直接能量沉积- DED
中国	恒利	粘结剂喷射-binder jetting, 粉末床熔化-PBF,选择性激光烧结-SLS
中国	珠海西通	光固化工艺- VAT Photopolymerization,粉末床熔化-PBF
中国	智熔系统	粉末床熔化-PBF,直接能量沉积- DED
中国	中科煜宸	粉末床熔化-PBF,直接能量沉积- DED
	鑫精合	粉末床熔化-PBF,直接能量沉积- DED
中国	汉邦科技	粉末床熔化-PBF
中国	广东信达雅	粉末床熔化-PBF
中国	大族激光	光固化工艺- VAT Photopolymerization,粉末床熔化-PBF,粘结剂喷射-binde
		jetting



国家	品牌	主要技术
日本	Aspect	粉末床熔化-PBF
日本	CMET	光固化工艺- VAT Photopolymerization
日本	D-MEC	光固化工艺- VAT Photopolymerization
日本	Matsuura	粉末床熔化-PBF+铣削
日本	Ricoh	粉末床熔化-PBF
日本	Sodick	粉末床熔化-PBF+铣削
韩国	Carima	光固化工艺- VAT Photopolymerization
韩国	InssTek	直接能量沉积- DED
韩国	Rokit	材料挤出工艺- Material extrusion
韩国	Sentrol	粉末床熔化-PBF, 粘结剂喷射-binder jetting
德国	Arburg	材料挤出工艺- Material extrusion
德国	Concept Laser	粉末床熔化-PBF
德国	Envisiontec	光固化工艺- VAT Photopolymerization, 材料挤出工艺- Material extrusion, LOM层压技术
德国	EOS-易欧司	粉末床熔化-PBF,选择性激光烧结-SLS (DMLS)
德国	Geman RepRap	材料挤出工艺- Material extrusion
德国	Apium(Indmatec)	材料挤出工艺- Material extrusion
德国	Nanoscribe	光固化工艺- VAT Photopolymerization
德国	OR Laser	粉末床熔化-PBF
德国	Rapid Shape	光固化工艺- VAT Photopolymerization
德国	Realizer	粉末床熔化-PBF
德国	DMGMORI-德马吉森精机	粉末床熔化-PBF
德国	SLM Solutions	粉末床熔化-PBF
德国	Trumpf-通快	粉末床熔化-PBF,直接能量沉积- DED
德国	Voxeljet	粘结剂喷射-binder jetting,高速激光烧结-HSS



国家	品牌	主要技术
美国	3D Systems	光固化工艺- VAT Photopolymerization, 材料喷射-Material Jetting, 粉末床熔化-PBF, 粘结剂喷射-binder jetting
美国	Carbon	光固化工艺- VAT Photopolymerization
美国	Desktop Metal	材料挤出工艺- Material extrusion, 粘结剂喷射-binder jetting
美国	Exone	粘结剂喷射-binder jetting
美国	Fabrisonic	层压- Sheet Lamination
美国	Fromlabs	光固化工艺- VAT Photopolymerization
美国	HP-惠普	MJF-多射流融化
美国	Markforged	材料挤出工艺- Material extrusion
美国	Optomec	直接能量沉积- DED, 材料喷射-Material Jetting
美国	RPMI	直接能量沉积- DED
美国	Sciaky	直接能量沉积- DED
美国	Viridis 3D	粘结剂喷射-binder jetting
美国	Voxel 8	直接书写-DW
美国	GE (10)	粉末床熔化-PBF
以色列	Massivit	材料挤出工艺- Material extrusion
以色列	Stratasys	材料挤出工艺-Material extrusion,材料喷射-Material Jetting
以色列	SolidScape	材料喷射-Material Jetting
以色列	Nano Dimension	材料喷射-Material Jetting
意大利	DWS	光固化工艺- VAT Photopolymerization
意大利	Sharebot	材料挤出工艺- Material extrusion, 光固化工艺- VAT Photopolymerization, 粉末床熔化-PBF
意大利	Sisma	粉末床熔化-PBF, 直接能量沉积- DED

www.3dsciencevalley.com

81

国家	品牌	主要技术
	3DCeram	光固化工艺- VAT Photopolymerization
法国	BeAM	直接能量沉积- DED
法国	Prodways	光固化工艺- VAT Photopolymerization, 粉末床熔化-PBF
荷兰 荷兰	Additive Industries	直接能量沉积- DED
荷兰	Admatec	材料挤出工艺- Material extrusion
荷兰	Luxexcel	材料挤出工艺- Material extrusion
英国	Renishaw-雷尼绍	粉末床熔化-PBF
澳大利亚	Asiga	光固化工艺- VAT Photopolymerization
奥地利	Lithoz	光固化工艺- VAT Photopolymerization
	Sinterit	粉末床熔化-PBF
	Structo	光固化工艺- VAT Photopolymerization
瑞典	Arcam	粉末床熔化-PBF
瑞士	Sintratec	粉末床熔化-PBF
台湾地区	Microjet Technology	粘结剂喷射-binder jetting

软件一览

公司	软件	应用	
3DSIM		金属打印仿真优化软件	
Altair	SolidThinking Inspire	拓扑优化、仿真	
Ansys	SpaceClaim	分析、修复、编辑、切片	
Autodesk	Meshmixer	STL编辑	
	Netfab Standard, Premium, Ultimate	数据准备、切片、晶格、拓扑优化	
	Shapeshifter	建模	
11200	Winthin	创成式设计建模	
	Fusion, Forge	CAD建模平台	
Dassault	3DEXPERIENCE, Solidworks, CATIA	CAD建模平台	
Materialise	Magics, 3-matic, Streamics, 3-stage	数据准备、切片编辑、打印管理	
Siemens	UG	CAD建模	

•••



金属零件加工安全、质量检测与后处理



加工安全

以粉末床激光熔化金属3D打印设备及其打印材料为例,金属加工过程中的安全隐患包括:

粉末和惰性气体使用中的风险: 粉末床激光熔化金属3D打印机使用的材料为金属粉末, 粒径为10-70微米。这种类型的粉末材料存在引发火灾或爆炸的风险, 此外, 人体对粉末颗粒的长期接触和吸入也会给身体健康带来一定隐患。

火灾和爆炸: 燃烧的风险随着粉末粒径的减小而增加, 因此在风险控制工作中, 应该注意金属粉末的属性。通常, 铝合金、钛、钛合金, 以及这些金属粉末所产生的烟雾都属于活性金属, 它们引发火灾或爆炸的风险高于钢、铬镍铁合金、青铜、钴铬合金等非活性金属。

粉尘吸入和接触:金属3D打印粉末的粒径为10-70微米,这类粉末处于对人体的呼吸系统产生伤害的边缘。有学者在研究论文中表明,人体在吸入直径10-70微米的粉末颗粒之后,这些细微的粉末颗粒可以沉积在气管和支气管中,最终被人体吞咽和排出。

情性气体窒息: 粉末床激光熔化3D打印设备在工作状态下会用到氩气或氮气这样的惰性气体。惰性气体如果由于某些原因发生泄漏,则可能产生严重后果。由于这两种气体都不能被人体所察觉,受害者会在没有防备的情况下吸入含有这两种气体的空气。

环境影响: 应注意处理和收集设备中不同部位"散落"的金属粉末。



84 后处理

没有哪种技术可以对所有的3D打印零部件进行后处理: 3D打印零部件的表面质量受到打印机类型、打印技术和材料粒度多种因素的影响。后处理技术需要与打印材料、打印技术和零件几何形状相匹配,有时多种不同技术可以用于一种零件的后处理。

在设计3D打印零件时要考虑的不仅仅是3D打印工艺:例如,一个原本由5个部分组成的部件,可以被设计为一个整体的、集成式的零件,然后由3D打印设备及制造出来。但是在采用这种设计方案的时候应考虑到打印完成后的表面处理要求,有时传统的精加工技术可能并不适用于这种3D打印的零件,那么,这种情况下就需要重新调整设计方案,考虑将整体式的零件拆分为两个部分,打印完成之后进行组装。调整设计方案之后,既可以通过标准的精加工技术完成3D打印零件的表面处理要求,又能够保证高效的生产。

在确定你需要的3D打印方式和进行零件设计之前,就确定对零件表面质量的要求:

即使是同一个3D打印零件,不同位置上的表面光洁度也会有所差异,比如在下图中,零件7个不同位置的表面光洁度差异很大,这与打印零件的成型方向和在打印基台的定位是相关的。因此,为了获得最佳的表面光洁度,需要针对选择的3D打印技术把握好零件关键面的成型方向。还有一个考虑的因素是打印速度,打印速度和表面光洁度是负相关的两个因素。另外,零件的表面光洁度关系到后处理时的材料去除量,一般来说打印零件的表面光洁度越低,在后处理时需要去除的材料就越多。



后处理

85

充分了解后处理技术: 3D打印后处理的工艺有多种,例如水射流清洁和湿磨工艺等,很多后处理工艺都牵涉到一定程度的材料去除,因而在设计零件的几何形状时需要考虑到后处理工艺,并考虑如何补偿这些去除量。

收集后处理的结果及数据,并用于下一轮的设计优化:在对初次打印的零件进行后处理之后,评估尺寸公差,表面光洁度以及在后处理中损失的几何形状,将这些信息反馈给设计团队,在进行设计优化时,考虑是否需要增加加工余量,或者考虑是否需要将零件拆分为多个组件等。

花时间理解和验证你所使用的任何一种后处理工艺:

条件允许的话,用不同的加工技术来制造的产品原型,然后进行表面处理,对结果进行分析,掌握每种工艺所存在的限制因素。



图:热等静压设备



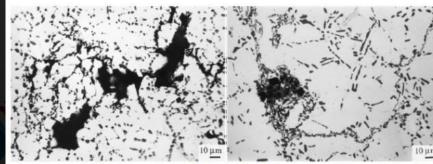
质量检测 I X射线断层成像

X射线断层成像(X-Ray Computed Tomography)是一种影像诊断学的检查。这一技术曾被称为电脑轴切面断层影像(Computed Axial Tomography)。 X射线断层成像是一种利用数位几何处理後重建的三维放射线影像。

近几年来,断层摄影也到了微米的等级,如今,国外将这一技术用到了金属3D打印产品的检测中。 GE也将计算机X射线断层成像技术用于其著名的喷油嘴的检测中,经过热等静压的后处理工艺,GE改进了产品的内部晶体结构,并提高了产品的抗疲劳性能。

通过实现对复杂零件的检测,当前的增材制造行业有望将过程中加工参数与模型结构以及零件机械性能建立有效的相关性分析,随着材料特征数据库的建立,以及对加工过程中几何形状特征与重要的工艺变量之间关系的理解。

Collapse of a void in an Al-7Si-Mg alloy casting As cast HIP



C. Nyahumwa, N. R. Green and J. Campbell, Influence of Casting Technique and Hot Isostatic Pressing on the Fatigue of an Al-7Si-Mg Alloy, *Metallurgical and Materials Transactions A* 32 (2001) 349-358

图: 计算机X射线断层成像用于热等静压后处理结果的检测,

来源: 宾州大学



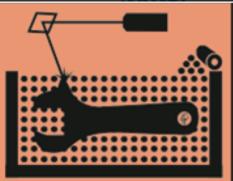
图: GE喷油嘴的检测,来源: GE











POWDER BED FUSION (PBF)



BINDER JETTING



MATERIAL JETTING

光聚合

市场上的技术名称包括: SLA 光固化快速成形设备, DLP数字光处理, CLIP 连续 液界面生产

描述:液态光敏树脂通过(激光头或者投影,以及化学方式)发生固化反应,凝固成产品的形状

技术优势:高精度和高复杂性,光滑的产品表面

典型材料:光敏树脂

航空航天应用: 原型、熔模或代替木模 粉末床融化(PBF)

市场上的技术名称包括:SLS 选择性激光烧结,DMLS, SLM选择性激光融化,EBM 电子束激光融化,SHS选择 性热烧结,MJF多喷头融化

描述:通过选择性地融化金属粉末床每一层的金属粉末 来制造零件

技术优势:高复杂性

典型材料:塑料、金属粉末 ,陶瓷粉末,砂子

航空航天应用: 原型、砂模、零件 粘结剂喷射

市场上的技术名称包括: 3DP(3D打印名称的由来)

描述:粘接剂喷射3D打印技术是把约束溶剂挤压到粉末床,3D打印的名称也由此诞生。

技术优势:全彩打印,高通量,材料广泛

典型材料:塑料粉末,金属粉末,陶瓷粉末,玻璃,砂子

航空航天应用: 原型、砂模、熔模 材料喷射

市场上的技术名称包括: Polyjet, SCP平滑的曲率打印 ,MJM多喷造型,Projet

描述:材料被一层一层的铺放,并通过化学树脂,热融材料或者光固化的方式成型

技术优势:高精度,全彩,允许一个产品中含多种材料

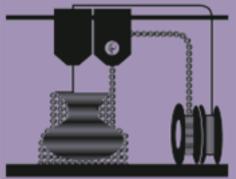
典型材料:尼龙、光敏树脂,树脂,蜡

航空航天应用: 原型、蜡模



www.3dsciencevalley.com









SHEET

MATERIAL EXTRUSION

DIRECTED ENERGY H

HYBRID

层压

市场上的技术名称包括:LOM 层压技术,SDL选择性沉积层 压, UAM超声增材制造

描述:片状的材料通过黏胶化学方法,或者超声焊接,钎焊的方式被压合在一起,多余的部分被层层切除,在产品被打印完成时移除掉

技术优势:高通量,相对成本低(非金属类),可以在打印过程中植入组件

典型材料:纸张,塑料,金属

航空航天应用: 代替木模

材料挤出

市场上的技术名称包括:FFF电熔制丝,FDM熔融挤出

描述: 丝状的材料通过加热的挤出头以液态的形状被挤出。

技术优势:价格便宜,多色,可用于办公环境,打印出来的 零件结构性能高典型

材料:塑料长丝,液体塑料, 泥浆(用于建筑类)

航空航天应用:

原型、熔模

直接能量沉积

市场上的技术名称包括:LMD 激光金属沉积,LENS激光净型 制造,DMD直接金属沉积

描述:金属粉末或者金属丝在 产品的表面上熔融固化,能量 源可以是激光或者是电子束, 通过机械手实现大尺寸加工和 自动化

技术优势:适合修复零件,可以在同一个零件上使用多种材料,高通量

材料:金属丝,金属粉,陶瓷

航空航天应用: 零件修复、金属模

混合增材制造

市场上的技术名称包括: AMBIT, 该名称由Hybrid Manufacturing Technologies 公司提出

描述:该技术是与当前的CNC 数控加工机床配套的增材制造 包

技术优势:高通量,自由造型,自动化的过程中制成材料去除,精加工和检测

典型材料:金属粉,金属丝, 陶瓷

航空航天应用: 零件修复



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)





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。