

复杂零件轻松“搞定”，有望建造“太空工厂”制造高精尖产品

## 3D 打印：值得航空航天界特别青睐

新华社北京电（记者白国龙）3D 打印，将让人类在航空航天征途上飞得更快更高更远。国内 3D 打印及航空航天领域的专家们日前在首届“中国航空增材制造技术与应用论坛”上宣布，作为一项颠覆性的制造技术，3D 打印将给航空航天领域带来重大变革。

3D 打印为什么受到航空航天界的特别青睐？它会带给我们哪些改变？这得从 3D 打印技术的原理特点说起。

3D 打印技术诞生于上世纪 80 年代的美国，是将物体进行三维结构化设计，采用分层加工、叠加成形的方式，以激光束或电子束作为热源，将塑料、金属合金、陶瓷等粉末材料按照预先设计的图形逐层高温熔化、凝固，最后得到与零件三维模型完全一致的真实零件，也叫“增材制造”。

如果说铸造技术像用模具在冰箱中冻冰棍，锻造技术像铁匠千锤百炼打铁器，那么 3D 打印则是一种全新的整体化制造技术，能大幅简化零件制造繁杂的工艺流程，大大地节省研制时间和提高原材料的利用率。

### 复杂零件轻松“搞定” 钱和时间省一半

不论是现代飞机还是航天器，都追求用尽可能少和轻的材料实现最大强度和刚度，因此构件常常采用“占空比”很大的异形设计，导致其结构特别复杂，形状似“歪瓜裂枣”，像做过“镂空”处理，用切削加工的方式制造则难度很大，有时 95% 的材料都被切削掉，且制造周期长达几个月。

3D 打印技术恰恰弥补了常规制造方法的不足，能快速地打印出结构复杂的零件，是实现结构复杂零件产品化的捷径。

想象一下，将飞机的涡轮盘、框架，航天发动机泵壳体、航天器的网格壁板密封舱等关键部件，从三维模型剖切成若干层二维“薄片”，那么不论这个三维零件结构多么复杂，只需逐层打印二维“薄片”并叠加粘帖，就可快速将产品完整做出来。

前不久，我国成功发射的首枚新一代运载火箭“长征七号”的某试验搭载中，就有用到 3D 打印的钛合金构件。中国运载火箭技术研究院副总工程师陈济轮向记者透露，采用 3D 打印只用 7 天就搞定以往好几个月才能加工完的零件。

中国工程院院士、北京航空航天大学教授王华明回忆说，国产大飞机 C919 机头工程样机的主风挡框、连接机翼和机身的上下缘条等钛合金大型复杂关键构件就曾采用 3D 打印制造，只用几十天时间完成了传统工艺耗时两年的工作，材料用量不足传统工艺的十分之一。

“若使用 3D 打印技术制造航空航构件，至少可以压缩一半的周期和成本。”中国工程院院士、西安交通大学教授李秉恒日前在首届“中国航空增材制造技术与应用论坛”上介绍，美国宇航局 2013 年通过 3D 打印技术制造的 J-2x 火箭发动机喷嘴器就在高温点火试验中产生了创纪录的 9 吨推力，并使整体式喷嘴器零件数由原来的 115 个集成为 2 个，大大提高了生产效率。

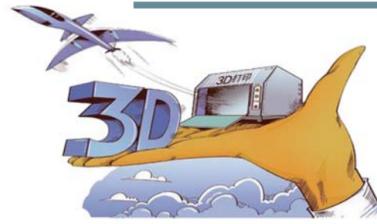
### 从空间“五金店”到“太空工厂”

“缩短型号研发流程，实现复杂结构产品的小批量快速制造只是 3D 打印作为颠覆性技术的一个方面。”陈济轮认为，3D 打印将会打破传统制造工艺对先进结构设计设计的制约，让产品设计师放手做出“天马行空”的设计。

如今，3D 打印已将人类生产活动拓展到太空。众所周知，太空环境与地球上完全不同，就是紧固螺帽这么简单的工作，在空间站都受到极大制约，更别说制造工具。因而在 3D 打印机被送上太空以前，人类进入太空就像去户外露营，得把要用的工具都带齐全。但自从空间站有了 3D 打印机，宇航员可以随时设计打印出急需的个性化工具，就像多了个空间“五金店”。

据悉，美国宇航局计划将 3D 打印技术应用到太空发射系统的创建和“猎户座”飞船的火箭部件上，并使之成为未来登陆火星计划的一部分。曾任欧洲空间局局长长的让·雅克·多尔丹近日在北京接受新华社记者采访时表示，3D 打印技术应用前景广阔，将在未来空间资源开发利用中，帮助人们直接在太空中进行矿产开发与深加工，实现飞行器在空间维修和燃料加注，使人类在深空探测中走得更远。

科学家相信，随着 3D 打印技术的不断进步，人类未来有可能将地面制造工厂搬到外太



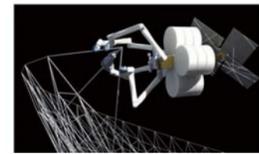
如今，3D 打印已将人类生产活动拓展到外太空



众所周知，太空环境与地球上完全不同，就是紧固螺帽这么简单的工作，在空间站都受到极大制约，更别说制造工具



在 3D 打印机被送上太空以前，人类进入太空就像去户外露营，得把要用的工具都带齐全。但自从空间站有了 3D 打印机，宇航员可以随时设计打印出急需的个性化工具，就像多了个空间“五金店”



空，利用太空中真空、超低温等特殊环境和无限的空间及能源，制造出更多高精尖的产品。

### 助力中国空天制造 机遇与挑战并存

在麦肯锡公司 2013 年公布的一份报告中，3D 打印在今后影响人们生产组织模式和社会生活的十二项的重大颠覆性技术中名列第九。欧美各国都意识到 3D 打印技术在航空航天领域的优势以及在空间站建设、深空探测等领域的潜在应用前景，各自形成了 3D 打印发展路线图，并在航空航天领域积极作出部署。

“我国的 3D 打印相比国外，研究起步并不晚，某些方面还处于领先地位，但应看到，

科学家相信，随着 3D 打印技术的不断进步，人类未来有可能将地面制造工厂搬到外太空，利用太空中真空、超低温等特殊环境和无限的空间及能源，制造出更多高精尖的产品

制图：电讯/刘新华

我国 3D 打印的产业发展较慢，企业规模不足。”卢秉恒院士坦言，目前仍存在着大型零件批量化生产难度大，产品的疲劳强度等性能满足适航条件难，缺乏统一的制造和检验标准、设备昂贵等瓶颈，和国外相比，存在数量级的差距。

如今，中国对 3D 打印技术日益重视，迎来 3D 打印良好的发展机遇。3D 打印已被当作“中国制造 2025”的一项重要工程来发展，国家已制订了相应的发展规划，并从十三五开始进行财力支持。

可以预见，随着 3D 打印技术规模化产业化，传统的工艺流程、生产线、工厂模式、产业链组合都将面临深度调整。3D 打印技术在中国航空航天领域上的应用前景也将充满无限可能。

## 医生，我想“私人定制”一截椎骨

3D 打印技术进入医疗领域，帮助医生突破医疗禁区

据新华社北京电（记者李亚红、肖思思、仇逸）小到鞋子，大到别墅，3D 打印正在改变公众生活。这一技术进入医疗领域，擦出的火花更令人惊艳——它能精准地打印出药片和私人定制的“人体骨骼”，帮助医生突破医疗禁区，“完成过去想都不敢想的手术”。

### 突破医疗禁区，完成“不可能”的手术

记者在北上广等地采访了解到，采用 3D 打印技术辅助手术操作，可以使医生更直观地了解患者解剖结构，为手术方案的设计和进行、手术进路的选择和优化提供极大帮助，有助于提高手术精准度，减少患者痛苦。

同时，3D 打印可帮助医生突破医疗禁区，完成过去无法完成的手术。如今，3D 打印技术不仅能打印出与患者完全匹配的仿真器官，对复杂骨肿瘤，直接打印出植入患者体内的骨骼假体、肿瘤切除后骨缺损的重建，也已经能完全实现。

“3D 打印应用于医疗正带来巨大变革。”中国工程院院士、骨科专家戴尅戎举例说，“临床

上人工关节一般会分成五六个大小不同的型号，病人只能将就着用。每年上百万人做人工关节，让流水线制作出的少量型号来满足所有患者需要是不太可能的。3D 打印能使量身定制“真正成为可能。”

南方医科大学第三附属医院已经将 3D 打印技术运用于复杂骨盆髋臼骨折治疗。今年 3 月，一位女士不慎从四楼摔下，造成严重的骨盆、髋臼复杂骨折。南医三院创伤骨科主任樊仕才介绍，进行手术尤其棘手的是，骨盆结构很特殊，非常不规则，目前还没有匹配的用来内固定的接骨板，很难达到满意的手术效果。综合评估患者病情后，樊仕才团队决定尝试应用 3D 打印，为她“量身定制”髋臼接骨板。接骨板主要使用钛合金打印，与组织相容性较强，强度也符合人体需求。

今年 4 月，中山大学孙逸仙纪念医院神经外科主任邓跃飞接收了一名 26 岁的患者小张。小张被确诊为巨大颈静脉球瘤，肿瘤压迫了他的右侧三叉神经、面神经、听神经及舌咽、舌下神经等多条重要颅神经，“随时有呼吸、心跳骤停的危险”。

“过去，这是不敢想象的手术。”邓跃飞说，

这个颅底肿瘤生长的位置特殊，不仅在颅底深处，而且肿瘤与众多组织“牵扯不清”。手术难度大、并发症多、风险高，稍有不慎便可能威胁患者生命。邓跃飞团队结合 3D 打印技术，将患者的颅底肿瘤及周围组织等按原型 1:1 比例打印出来。这时，肿瘤终于“活生生”地呈现在大家面前。他们按照模型确定手术入路、切除范围，明确了手术中需要注意保护的重要血管、神经。“在尽可能切除肿瘤的同时，最大限度地保护周围正常组织，降低了并发症和后遗症的发生率”。

国家食品药品监督管理总局注册认证的 3D 打印人工椎体研究团队负责人、北京大学第三医院骨科主任刘忠军等专家认为，3D 打印在现阶段属于新兴技术，目前世界各国在 3D 打印医疗科技创新产品的研发领域，处于同一平台高度。

### 打印“活”的细胞，打印复杂器官

专家介绍，随着技术进步升级，3D 打印有着

日益丰富的“层次”，有用在人体外的，有用在体内的，有打印组织工程支架的，有用活细胞打印的……“国内外都在试用 3D 打印制作假肢，现在欧洲开始用 3D 打印假眼睛。”戴尅戎说，随着技术进步，有的机构开始用 3D 打印“活”的细胞，甚至开始培育出心肌肌肉，可自发跳动一段时间。

“3D 打印技术在医学领域的进一步应用，将是直接打印人体组织和器官。”南方医科大学第三附属医院院长黎道章指出，这一技术很有可能也是在骨科率先得到突破。“因为骨和软骨结构相对简单，由骨细胞或软骨细胞和基质构成，打印起来较为容易。”他表示，未来不仅可以打印出人工骨或软骨，甚至可以打印肝脏等复杂器官。

专家表示，我国等待角膜、肝脏或肾脏移植的患者很多，但只有极少数能获得移植，3D 打印技术有望在未来扭转这种局面。

不过，戴尅戎说，3D 打印应用于医学还只是开始，“在发展过程中要非常小心，做好监管工作，不能轻易打印出个东西就往身上装。前景无比美好，但我们不能任意使用。”

## 成熟的自动驾驶技术离我们有多远

新华社洛杉矶电（记者郭爽）三个月内，接连三起与特斯拉自动驾驶技术相关的交通事故，不仅把特斯拉推上风口浪尖，让交通立法显得茫然失措，也让自动驾驶技术面临质疑：特斯拉汽车是否应禁用自动驾驶功能？这一技术具备上路条件吗？成熟的自动驾驶技术距离我们到底有多远？

5 月 7 日，美国发生第一例涉及汽车自动驾驶功能的交通死亡事故，佛罗里达州一辆特斯拉 S 型电动车在自动驾驶模式下发生撞车事故，司机身亡。目击者称，事故发生后，轿车仍继续向前行驶了一段距离。

自动驾驶技术随即迅速成为“众矢之的”。尽管特斯拉解释说造成这场车祸的情形极为罕见，但不少舆论仍批评该公司过早推出自动驾驶系统，把公共道路当成试验场。

为特斯拉研发自动驾驶技术的 Mobileye 公

司更是“火上浇油”，称这一系统的设计并不能避免出现这一事故。该公司发表声明说，现今的防撞技术或“自动紧急制动技术”（AEB）仅为避免追尾碰撞而设计。而上述事故所涉及的情况不属于该公司 AEB 系统目前的设计目标范围。

特斯拉首席执行官埃隆·马斯克反复强调，自动驾驶开启时比这一系统关闭时更安全，没有人希望取消特斯拉汽车内的这一功能，该技术每天都在进步。然而，不到两个月，特斯拉自动驾驶又惹麻烦。7 月 1 日，一辆特斯拉 X 型电动车在宾夕法尼亚州高速公路上翻车，司机受伤住院。随后，蒙大拿州一辆特斯拉 X 型电动车 7 月 9 日在使用自动驾驶功能时滑向路边撞到护栏，所幸未造成重大伤亡。

特斯拉随后称，两起事故是由于司机使用自动驾驶功能不当引起的。该公司强调，目前自动驾驶系统只是起到辅助驾驶功能，即使这一

功能启动时，司机也应把手放在方向盘上。但批评声音称，自动驾驶功能不是不少车主选择特斯拉的重要原因，人们很容易对这一功能产生依赖。

事件不断发酵，“压力山大”的马斯克表示将升级自动驾驶系统，将开发安全性超过普通汽车 10 倍的自动驾驶技术。

毫无疑问，人们对自动驾驶这项汽车业热点技术充满期待。但不乏专家表示，这项技术并不具备取代司机和大规模普及的条件。美国杜克大学机器人项目主管米西·卡明斯 5 月在美国国会一场听证会上指出，自动驾驶目前并没有做好搭载人类上路的准备，根本不能取代驾驶员的工作，“绝对”不具备大规模普及的条件。

除了对复杂路况的掌控能力很弱外，自动驾驶也无法应对包括雨雪在内的恶劣天

气，更不要说应对黑客攻击等能力了”，她说。美国智库兰德公司今年 4 月发布的报告显示，需要测试数亿至数千亿公里，才能验证自动驾驶汽车在减少交通事故方面的可靠性，而现有自动驾驶汽车测试的总里程还很少。

事实上，特斯拉同样承认自动驾驶技术仍未完全成熟。马斯克指出，当技术成熟时，所有特斯拉汽车将配备全自动自动驾驶系统，可应对操作失败等状况，但调整和验证软件需要相当长的时间，并非安装摄像头、雷达、声纳定位和计算处理等硬件这么简单。但他强调，这绝不是说应该禁用这一功能。

多起与特斯拉自动驾驶技术相关的事故发生后，美国国家高速公路交通安全管理局启动调查。但该局局长马克·罗斯金德说，任何一起事故都不会阻止该局推动高度自动驾驶技术的发展。

核电站的运行好比在高速公路上开车，非核级 DCS 负责车辆的起步及高速稳定运行；作为核级 DCS 的“和睦系统”就负责控制车辆的制动及车身稳定，实现车辆遇到紧急情况时的事故缓解，也就是说，紧急情况时只有它才可以“喊停”。

新华社北京电（记者安娜、赵超、华峰迪）拥有一套属于自己的数字化仪控系统（DCS），是每一个核电大国的梦想。迄今为止，全世界包括我国在内，只有四个国家实现了这个梦想。日前，我国首个具有自主知识产权的核级 DCS 通用平台“和睦系统”正式通过国际原子能机构（IAEA）独立工程评审。

### 核电站 DCS：掌管上万“神经末梢”的“神经中枢”

众所周知，人的神经系统控制着人体所有生理功能，DCS 就好比核电站的“神经中枢”，控制着核电站上万个“神经末梢”，包括核级 DCS（也叫安全级 DCS）和非核级 DCS。

“目前世界上能够制造非核级 DCS 的国家有很多，但是能够攻克核级 DCS 技术难点的国家极少。”中广核新闻发言人黄晓飞说，“和睦系统”就是中国的核级 DCS。

以采用“和睦系统”的百万千瓦级核电站阳江 5 号机组为例，“该机组的核级 DCS 机柜就有 75 台，模块 4500 块，共有元器件 400 多万个。”“和睦系统”研发单位——中广核旗下北京广利核系统工程有限公司总经理助理孙永滨说。

“这么多元器件，一要保证它们精准耦合在一起，能够协调运行；二要保证至少 15 年之内，整个核级 DCS 系统不出现影响机组安全运行的质量问题。难度之大，可想而知。”孙永滨坦言。

这还只是核级 DCS 的机柜规模。阳江 5 号机组的 DCS 还有运行 DCS 机柜 98 台，多样性 DCS 机柜 12 台等。

### “和睦系统”：毫秒级响应、50 年精准、千万次听命

如此复杂的 DCS，它在核电站中到底怎么运行的呢？

有个形象的解释：核电站的运行好比在高速公路上开车，非核级 DCS 负责车辆的起步及高速稳定运行；作为核级 DCS 的“和睦系统”就负责控制车辆的制动及车身稳定，实现车辆遇到紧急情况时的事故缓解，也就是说，紧急情况时只有它才可以“喊停”。

也正因此，“和睦系统”是核电站安全屏障中的最关键环节之一，安全性、可靠性要求非常高。

据孙永滨介绍，“和睦系统”从发现故障到发出停堆指令，短于 150 毫秒；其运行 50 年中，最多可以误动作一次；向“和睦系统”发出 1000 万次指令，它不能拒绝一次；任何手机和通信设备不会干扰“和睦系统”的正常工作，同时它可抵御 8 级烈度以上的地震。

即便如此，设计者们还是用“和睦系统”为核电站安全停堆装备了四套一样的“发动机装置”，以进一步保证整个核电站的安全性。

“DCS 的造价占到整个核电站总投资的二十分之一到五分之一，是核电站造价最昂贵的成套设备之一。”北京广利核系统工程有限公司总经理江国进说。

### 未来走向：脱胎于核电的“和睦系统”未来还将走向“核外”

正因核级 DCS 的重要、复杂与昂贵，没有一个拥有制造能力的国家愿意转让技术。

“和睦系统”的诞生，可以说是需求倒逼型的，也是基于中国核电 30 年的发展经验。”中国原子能科学研究院原堆副总设计师刘国发说。他是“和睦系统”的首批用户，也是“和睦系统”研发项目的参与者与推动者之一。

“我们当时也想引进国外的 DCS，但是太贵了，一个断路器就要 1 万欧元左右，一套系统几十个断路器，我们那点经费根本不够。”刘国发说，“正是有了快堆、高温气冷堆和压水堆的核级 DCS 应用需求，广利核公司依托国家 863 计划和科技重大专项的课题研究，才完成了和睦系统的研制及应用推广。”

“和睦系统”现已通过了 IAEA 的独立工程评审，这又为其质量水平打上了国际化标签。

“和睦系统”不会止步于目前的水平，它的应用也不会仅限于核电领域，未来还将应用于航空、船舶等其他高可靠性要求的行业。”江国进说。

我自主研发的核电核心技术通过国际原子能机构评审

## 「和睦系统」登场，核电大国圆梦