

# 3D打印成功制造 大亚湾核电站制冷机端盖

近日，中广核集团对外发布，采用金属3D打印技术研制制造出的压缩空气生产系统制冷机端盖，在我国大陆首个百万千瓦级大型商业核电站——大亚湾核电站实现工程示范应用。这标志着中广核开展的3D打印技术在核电站设备及零部件制造、维修过程中的关键技术研究取得突破性进展。

核电领域的部分设备结构复杂、运转环境苛刻，对机械性能要求极高；尤其部分国外进口设备，备件采购周期长、采购成本高。而3D打印技术具备可实现复杂结构一体化净成形、制造周期短、材料利用率高、产品性能优良的优势，不仅可以优化产品设计方案、提高设备制造质量、降低备件采购成本，还能快速高效实现现场紧急备件，优化备件库存结构。

据悉，2016年起，中国广核集团下属中广核核电运营有限公司牵头对3D打印技术在核电领域的应用

进行科研攻关，开展了“3D打印技术在核电站设备及零部件制造、维修过程中的关键技术研究”科研项目。

据中广核核电运营公司副总经理秦余新介绍，该项目以EAM235合金为原材料，利用电熔增材制造这一3D打印领域先进的制造技术，成功实现了该型号制冷机端盖国产化，创造了3D打印技术在国内商运核电站的首例工程实践示范应用。秦余新表示，这标志着3D打印技术在核电领域实现了从理论研究、技术分析向工程实践应用的重大跨越。

中广核是我国最大、世界第三大核电企业，目前在运核电机组20台，在建核电机组8台，总装机容量达到3147万千瓦。秦余新表示，可以预见，将3D打印制造技术应用于核电站设备及零部件制造及修复，对将来核电设备的设计、研发、制造、修复，以及备件保障和库存管理过程都将带来革命性改变。（边际）

# 航空航天用金属玻璃材料问世

德国萨州大学研究人员开发出一种新的非晶态金属钛铀合金，这种合金也称为金属玻璃，其性能与常规钛合金完全不同，特别适合用作航空航天领域的轻质部件。这一成果获得大学知识与技术转化中心颁发的发明人奖。

材料研究类似于数千计的拼图游戏，如果没有找到合适的开始部分，要想获得完整的图片就非常困难。萨州大学3名博士研究生亚历山大·库巴、贝内迪克·博希特勒和奥利弗·格罗斯在导师拉尔夫·布希教授的指导下，经过多年实验，终于研制出一种强度非常高而又非常轻的合金。

与目前的无定形金属材料相比，该合金具有许多优点：原料来源丰富，主要由钛和铀组成，与其他基于锆、铌或钽非晶态金属不同，钛相对廉价，而且钛铀合金不会像通常使用的铍合金那样有毒性。

以往没有人尝试用铀来做合金，本研究率先选择了铀作为不同

金属的混合物。博希特勒介绍说，他们首先发现了一种具有良好性能的含铌和铀的合金，然后又拿质量更轻、更便宜的钛做试验。经过约250次实验，3人终于找到了钛、铀和其他元素相互结合的最佳配比。寻找配方的过程非常复杂，一种元素用量1%的差异，对于一种合金是否具有所需特性起决定性作用。在相同重量下，新开发出的钛铀合金强度大约是普通相同密度的钛基金属的两倍。因此，它是生产更轻、更小部件的理想材料。

这种所谓金属玻璃的生产工艺也相当关键，因为材料熔体要在1100℃以上的高温下被急速冷却，这样不会形成规则晶格的合金。熔体在不到一秒钟内冷却，凝固的熔体呈现无序原子结构，这种结构状态也被视为玻璃。混乱无序的结构使得金属玻璃的性能与传统的金属材料合金相当不同，像钢一样坚固，但同时像塑料一样具有弹性。（顾钢）

# 全球增材制造技术进展情况及发展趋势



我国部分增材制造技术虽暂时领先，但面临原创性工艺、技术缺失，重大技术突破不足等问题，探究全球增材制造技术进展及发展趋势，对推动我国增材制造产业跨越式发展具有重要意义。

## 国内外增材制造技术进展情况

增材制造新技术不断突破。随着增材制造领域相关研究的不断深入，近年来，液态金属的喷墨打印、粉末床熔融和粘结剂喷射混合工艺的高速成型、选择性激光烧结、连续液面生长、多射流熔融等一批新工艺、新技术获得突破。此外，超声波增材制造、智能微铸锻复合制造等一批增材制造复合制造技术延伸了现有增材制造技术，发展潜力巨大。

增材制造专用材料种类逐渐增多。增材制造专用材料的类型和品质决定着增材制造产品及服务的质量。全球面临专用材料种类少、性能差、价格高的问题。近期，Stratasys、3D systems、EOS、惠普等行业领军企业以及巴斯夫、杜邦等材料企业纷纷布局材料领域，突破了一批新型高分子复合材料、高性能金属材料、生物活性材料、陶瓷材料等专用材料，极大拓展了增材制造材料类型，增材制造材料种类正逐渐增多。

增材制造装备性能不断升级。随着增材制造装备工艺技术研究深入和制造技术的突破，出现了一批超大型、超高速、超精密的工艺装备。近期，GE公司发布的增材制造装备成型尺寸达到1.1米×1.1米×0.3米（Z轴可扩展至1米，甚至更大），推动粉末式金属激光增材制造成型进入“米”级时代。德国EOS公司、SLM



液态金属。

Solutions公司等推出四激光系统的新型装备，大幅提升打印效率。澳大利亚APEE3D公司基于超光速三维沉积（SP3D）技术的金属增材制造装备，成型速度较传统金属增材制造技术提高100~1000倍。惠普公司基于MJP技术的装备成型精度达到1200DPI，并引领多材料全彩增材制造。深圳摩方材料公司自主研发的面投影立体光刻装备，打印精度可达微米级。

增材制造产品质量逐步提升。增材制造产品质量不断提升，带动增材制造从产品研发设计到零部件直接制造转变。GE公司LEAP航空发动机中的增材制造燃油喷嘴订单量已超11000台。国产大飞机C919中增材制造舱门复杂件的力学性能明显高于原有铸件。北京爱康宜诚医疗器械股份有限公司与北京大学第三医院联合研制的增材制造髓关节、椎间融合器等产品相继获得CFDA注册批准，推动增材制造技术与个性化、精准医疗的深度融合。

增材制造服务获取更加便捷。系统化和数字化正成为增材制造服务的主流方向。西门子与Stratasys、GE、3D Hubs公司等领军企业合作，

推动西门子数字工厂解决方案与增材制造解决方案整合，提升了增材制造产品的全生命周期管理水平。

## 国内外增材制造技术发展趋势

单一材料向复合材料方向发展。单一材料种类较少和性能不足严重制约了增材制造技术应用，将纳米材料、碳纤维材料等与现有材料体系复合，开发多功能纳米复合材料、纤维增强复合材料、无机填料复合材料、金属填料复合材料和高分子合金等复合材料，不仅赋予了材料多功能性特点，而且拓宽了增材制造技术的应用领域。

多材料、多工艺增材制造成为重要方向。多材料增材制造技术可融合多种增材制造工艺，实现全彩增材制造等高质量产品的一体化成型，并大幅提升成型效率。增材制造技术与机器人、数控机床、铸造等多种技术的集成，可满足无支撑成型等严苛的工艺要求，不仅实现复杂结构产品的增材制造，还可以实现产品的近净成形。

装备成型尺寸更大、精度更高、更智能。大型化：增材制造装备成型尺寸已经步入“米”级时代，增材制造装备大型化已成为发展趋势。微型化：现有增材制造的成型精度已经达到微米级，未来将向纳米级的成型精度发展，极大促进增材制造技术在微流控芯片制造等领域的应用。智能化：传感器、微处理器、数据存储装置等智能部件将融入增材制造装备，实现成型过程的实时记录和反馈，带动装备的智能化。

融合式创新重塑增材制造新模式。增材制造与传统的减材制造融合，提升增材制造技术的成型效率和精度，助力企业实现柔性制造，赋予现有加工中心或生产线高柔性、高效率；将增材制造装备纳入智能制造生产体系，实现生产过程的实时管理和优化，并通过云制造实现分散的社会智力资源和增材制造资源的快速集成，将重塑增材制造技术及应用模式。

## 发展我国增材制造技术的几点建议

加强增材制造创新体系建设。完善国家增材制造创新中心运行机制，鼓励有产业基础、技术条件的地区建

设省级增材制造创新中心。强化关键共性技术研发，加快突破高性能材料研制、高质量高稳定性增材制造装备制造、核心支撑软件开发等关键共性技术。积极跟踪增材制造技术的发展趋势，制定增材制造技术发展路线图，提早布局新一代增材制造技术。

鼓励增材制造产业国际合作。参与引领国际增材制造标准制定，推动我国领先领域的国内标准成为国际标准。通过与国际先进企业技术合作，加强在粉末制备、大功率激光器、扫描振镜等薄弱环节的技术攻关，充分引进、消化、集成先进科技成果。鼓励国内企业“走出去”，开展并购、股权投资及建立海外研发中心，培育具有国际竞争力的龙头企业。引导国外企业在华设立研发基地，带动国内增材制造研发水平的整体提升。依托“一带一路”战略，推进增材制造技术在沿线国家的推广应用。

制定产业发展的相关配套政策。支持设计、材料、工艺、装备、检测等重点领域国家、行业、地方、团体标准的制定，加速构建增材制造领域新型标准体系。开展增材制造技术和产品特性的检测基础理论和方法研究，结合增材制造技术的应用要求，建立增材制造检测和认证体系。扩大增材制造相关专业人才培养规模，完善配套支撑的课程设计、教材开发、师资队伍、专门实验室等方面建设，建成一批人才培养示范基地。加强海外高层次科技、经营人才引入，建立和完善人才激励机制，形成与增材制造产业发展相适应的人力资源建设格局。（赛迪智库）



Stratasys公司3D打印产品。

# 国外脉动装配生产线的应用与发展

脉动装配生产线是一种先进的装配生产线，目前主要用于航空领域。脉动装配生产线可以设定缓冲时间，对生产节拍要求不高，当生产某个环节出现问题时，整个生产线可以不动，或留给下个工位去解决，当飞机的装配工作全部完成时，生产线就脉动一次。

## 始于波音

脉动装配生产线的概念最早出现航空领域。美国波音公司应用精益制造原则创造的飞机装配方式。最初于2000年在“阿帕奇”直升机的制造中应用了脉动式总装线，2006年建成波音717的连续移动式总装线。后来又用在波音737的总装中应用，并且有了大量的经验总结和报道。飞机移动式总装线的优势开始显露出来以后，波音公司扩大了对它的应用，如在波音757、777和P-8海军反潜巡逻机、F-18战斗机和C-17重型运输机等的装配中都有应用。

## 飞机装配全面普及

波音公司在飞机装配线中成功地使用了脉动式的总装线，这一创造性的应用成功带动了其他的飞机制造商。继波音之后，美国的洛马公司在2003~2004年建成了其F-35的脉动式总装线，后来又建立了F-35各个大部件的集成装配线，2017年，洛马共生产了66架F-35战机，2018年预计将达到90架，洛马的最终目标是在2023年实现年产160架F-35。

阿古斯特维斯特兰公司在英国的约维尔工厂于2011年为它的W159武装直升机建立了脉动式装配线；庞巴迪公司为其C系列新机建立脉动式装配线，于2016年投入使用。

## 从飞机总装配向部件组装延伸

飞机总装配领域脉动生产线的应用拓宽了航空工业生产线的思路，如今在飞机的部件如机翼以及航空发动机的装配中也开始出现了脉动生产线的使用。

近两年飞机部件装配采用脉动生产线的情况逐渐增多，并且有部件脉动装配线优先于总装配线建设的趋势。如在生产C-17运输机的发动机悬架时，采用脉动装配线减少装配周期20%，降低成本10%。波音787复合材料结构的水平尾翼和垂直尾翼的脉动生产线、空客A350的复合材料机身蒙皮壁板的脉动生产

线也陆续投入使用，此外英国宇航也建立了空客机翼的移动式装配线。

因为部件采用脉动装配时受企业外部供应链影响较小、易于成功、见效快，也成为近来部件脉动装配生产线发展较快的原因。

## 从飞机向其他产品发展

脉动生产线在工业领域的使用也开始不再限于飞机装配，开始向其他的产品发展起来。波音公司最早尝试将脉动装配线引入其军工产品制造领域。2008年波音为美国军方新一代GPS制造卫星建成了脉动装配线，尽管总共只承担了12颗卫星的制造任务，而仅仅在第4颗卫星的制造才能用上脉动装配线，但是波音还是在极小批量、极复杂的产品生产中，成功地运用了脉动装配线。

法国赛峰集团改变了传统的继承GE在立式固定机架上“穿糖葫芦”式的总装过程，在2011年实现了CFM56发动机的脉动装配，减少装配周期35%。2015年3月，赛峰与eXcent签订了为LEAP发动机的三个版本设计和生产双链组件的合同，即LEAP-1A、LEAP-1B和LEAP-1C。eXcent在2014年为LEAP发动机生产了预串联组夹具，并且根据SNECMA的反馈结果，设计了脉动装配线。

巴布科克国际是英国仅次于BAE和罗罗的第三大军工企业，它在生产“豺”式巡逻车

打破了航空和复杂军工生产不能采用流水线生产的制约，为发展航空工业的生产力提供了无限的可能。

## 自动化、集成化程度不断提高

现行的脉动装配线的装配过程仍然以手工为主。从汽车生产自动化移植到飞机制造的“集成装配线”（IAL）是目前最先进的飞机制造技术。集成装配线IAL实际上就是一种自动化、智能化的脉动装配线。它最大化地使用机器人和自动化设备，为飞机生产提供更加强大的制造和装配能力，实现用手工方法很难达到的严格质量要求，并提供了一个更有效的装配环境。

IAL的核心是一组精确导引的自动引导车AGV，它将装配的构件、工具和其他一切必要准备从一个工作站移动到下一个。2012年4~10月，F-35的大部件分包商诺斯罗普·格鲁曼和BAE分别宣布了它们的“集成装配线”开始运行，并开始交付在IAL生产的中机身和后机身部件。如今IAL成为美国达到每天生产一架F-35的不可缺少的措施。

## 解放高端装备生产力

可以看到，建立脉动装配线是飞机制造技术发展的必然趋势，是适应现代飞机制造技术发展的必然需求，同时也是提高整个国家的飞机制造水平和加速飞机研制过程的主要举措。此外脉动装配线还提高了航空航天以及军工领域的生产力，对流水线作业在高端装备领域的应用起到了极大的推动作用。

（高端装备发展研究中心）



F-35脉动生产线。

中采用了由12个工位组成的脉动生产线并配有脉动生产管理信息系统，达到日产1辆的水平。脉动装配线在军工制造领域的广泛应用，彻底



波音777生产线。

# 智能制造发展的三个阶段

人工智能就是通过计算机的硬件和软件，尤其是各种软件，给机器赋予了智能，让机器可以感受环境，意识到环境的变化，进一步为决策者提供建议，拓展了人的智能，甚至在事前授权的情况下自主做出决定。

如果说智能是指获取知识和技能的一种能力，无可否认的是，正是这些计算机辅助系统和工业软件为制造业带来了智能。因此，智能制造，简单地说就是计算机制造。

电脑比人脑更强大之处，不完全在于其强大的计算能力和存储量，关键是其中运行的软件。以此为基础，可以理解智能制造演进的三个阶段。

## 数字化起步

利用计算机来改造企业的生产装备，起步很早。1952年，即商用电子计算机发明的第二年，美国就有一家设计公司设计了一套数控装置，开发了第一台三坐标数控铣床。尽管这个铣床体积很大，造价也很高，但是开辟了一个数字控制的新时代。1958年，美国研制出第一台加工中心。这意味着，计算机改变制造业的时代，正式拉开了帷幕。

计算机系统很早就开始赋予各种制造装备以智能。如果按照前面智能的定义的话，那么智能制造这个问题，可以说很早就提出来了。在整个信息化对制造业的改造过程中，是工业软件支撑了企业数字化的发展，扮演了一个非常关键的角色。

中国制造业体量世界第一，占世界制造业份额的20%，但是，中国的工业软件现在90%以上依靠进口。而且，中国工业软件的市场份额仅占世界工业软件市场份额的1.7%。

其实早在20世纪70年代，就可以看到数字化对传统工业的改造蓬勃发展。特别是在1974年，第五代使用微处理器和半导体存储器的计算机数控装置研制成功以后，从生产装备的角度来看，发展非常迅速。

后来，随着计算机技术的发展，出现了全三维数字化和数字仿真，工业数字化向高端方向发展。企业从接订单开始，一直到最后的产品交付，全流程完全依赖计算机的控制和支持。

## 网络化崛起

20世纪90年代初，互联网开始在全球普及，企业的网络化随之也快速发展。

除了应用互联网之外，企业的网络化有两个主要方向，一是内联网，将企业内部各个部门和下属单位所有的信息系统全部连在一个网。这样

极大提高了企业内部业务的运行效率和有效性。另外一个外部网。企业的外部联系，全部通过互联网进行。也就是说，把企业内部网的一部分向外部合作单位开放，求得横向打通。

互联网带来的制造和生产的网络化，正是基于内部网和外部网实现。制造业网络化带来的重大技术突破，至少表现在以下三个方面。

一是关联设计系统。在虚拟设计与制造的环境下，网络可以支持成百上千个在线用户同时进行实时设计，使得一个系统或者一台装备的总图、子系统之间的三维设计结果相互关联。“互联网+”为制造能力的提升开辟了一个难以想象的巨大空间，对企业来讲是一个全新的竞争优势。

二是网络化协同平台。网络化带来的不仅仅是大家交换信息，而且可以带来工程人员的协同工作。一些大的企业，如波音公司，率先建立了自己非常强大的网络化协同平台。2000年9月，以波音、洛马、雷神、BAE及R&R为代表的美英国防航空巨头，发起组建了大名鼎鼎的Exostar，探索国防航空行业的供应链网络协同。目前，通过Exostar进行供应链管理和协同的有六大主制造商，涵盖16000个不同规模的专业供应商。

三是全三维标注技术。任何一个产品，只要把三维的图做出来，零部件的图纸就可以利用计算机软件和系统自然而然地分解和生成。这就使得企业得以形成单一的数据源管理。

## 智能化发展

制造业的智能化，实际上跟数字化基本上是同步的，不过在早期，只是单机、单个装备而已。像CAE这种非常复杂的软件，需要把计算、工程知识和人类的经验，都融合在里面。因此工业软件并不简单是软件，而是一门学问。就智能化而言，从数据处理的角度来看，业务智能也是很重要的一个分支。

智能化实际上是依托于计算科学，而不仅仅是计算机科学。在计算机科学意义上的智能化，实际上包含四个基本的要素：模型、算法、软件和数据。研究任何一个问题，必须首先要把握问题的数学模型构造出来；之后需要一套模型计算的算法方法。如果只做了信息的采集、存储、处理、检索和利用，这不是智能的系统，而只是一个简单的信息系统；即使把它们都连成网络，仍然只是一个联网的信息系统，而不是一个智能的系统。因此，判定一个系统是否是真正的、智能的系统，一定要从这四个方面去评估。（周宏仁）