

航空发动机的红外隐身“超能力”

早期人们用眼睛发现空中目标，飞机涂装来隐蔽自己；后来靠声音侦察敌机，发动机采取消声以对抗；在雷达出现后，科学家致力于将雷达反射信号降到最小。当前的空战主要采用空空导弹攻击，有许多空空导弹采用红外制导，对飞机威胁很大，而发动机是飞机上最强的红外辐射源。因此，降低发动机的红外辐射量可以有效降低被发现、识别和跟踪的概率，实现隐身效果。

红外抑制技术

红外辐射既是电磁波又是光。发动机机体和喷射气流工作中都会产生红外辐射：发动机的喷管有一部分裸露在外，这些零件工作温度高，红外辐射强烈。同时，发动机工作时排出的燃气，特别是开加力时辐射的红外能量最大。

在实际应用中，通过遮挡、降低红外发射率和降低表面温度等方式可以抑制红外辐射，达到红外隐身效果。

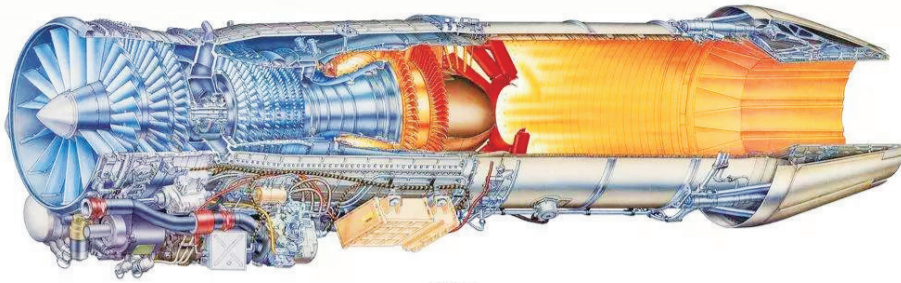
表面涂层

发射率指物体的辐射能力，用于体现物体与外界环境能量交换能力的物理量。物体的发射率与物体表面的材料密切相关，表面涂层可以改变零件的辐射率。

发动机及其热影响区是最重要的红外辐射源，虽然发动机安装在飞机机身内部，但是外调节片、弹性片等外露部件由于传热辐射引起的红外辐射能量非常大，成为红外探测设备捕获的主要目标。通过在发动机部件上进行贵金属镀膜，或喷涂低发射率的涂层来降低部件的红外发射率，实现红外辐射的抑制。

引射和冷却

降低表面温度是另一种抑制红外信号的方法。通过在发动机零部件涂覆隔热材料，将发动机释放的能量抑



制在内部，来减小红外辐射强度，实现红外隐身效果。

在喷管部位采用引射冷空气的办法，不仅能降低排气喷流的温度，而且还能降低机匣的壁面温度，实现双重效果。

遮挡

发动机的红外抑制还可以采用“遮挡法”，一种是外遮挡，在喷管出口部位设置上翘或折转的板片来挡住喷管内腔的红外辐射；另一种是内遮挡，

利用喷管内部的零件把涡轮等高温部件挡住。例如，使用矩形喷管的发动机通过其矩形扁出口可以挡住高温零件的一部分辐射，从而减少红外辐射。

未来的发动机正在寻求更新更好的红外抑制技术。普惠公司正在研制旋流加力燃烧室，既能抑制红外，又能开加力，且增重不多，尺寸不变。红外抑制是一项综合技术，需要全面综合平衡考虑，合理使用红外隐身材料可使飞机如虎添翼，缩短制造时间，提升飞机服役周期。（张桐）

什么是航空发动机转子碰磨

随着人们对航空发动机油耗、推重比等要求的逐步提高，提升航空发动机运行效率，尤其是提升民用航空发动机的经济性已经变得越来越重要。航空发动机的总体运行效率与机械效率共同决定的。其中，提升航空发动机的气动效率是提升发动机整体运行效率最直接、最有效的手段。而气动效率的损失很大一部分是由叶片顶部与机匣之间的间隙直接或间接产生。

如果我们把叶片顶部与机匣之间的间隙设计的比较小，可以解决这个问题吗？并不能，因为太小的叶顶间隙会增加叶片与机匣发生碰磨的可能性，进而引发一些灾难性的后果。

如果这么严重，那一旦发生碰磨的话整个发动机会都坏掉吗？实际上，所有的发动机在它们的全寿命周期内都会或多或少地发生叶片与机匣的碰磨，其中99%以上的碰磨都是无害的。这些无害的碰磨主要包含以下两个特点：碰磨引起的叶片振动不大；碰磨引起的叶片振动可以随着时间的流逝逐步消失。而那些会引起叶片持续、剧烈振动的碰磨，就有可能诱发叶片断裂报废、转轴弯曲和整机剧烈振动等更严重的问题。

那发动机运行得好好的，为什么会发生碰磨的现象呢？碰磨产生的原因有很多，例如，飞机在起飞或者进行机动飞行时，机匣会因为受到惯性力的作用发生变形，如果机匣某处的变形量超过了叶顶间隙，叶片就会与机匣在那儿发生碰

撞。上面这条原因这是由于机匣的变形导致的，还有一条原因是跟发动机的轴系有关。在现代民用涡轮发动机结构中，发动机的低压轴通过法兰或其他方式与轮盘连接，轮盘上又会安装有风扇、压气机或者是涡轮叶片。当发动机的轴因为质量不平衡或其他原因发生弯曲或者振动的时候，会带动连接在它上面的轮盘发生变形或振动，就可能引起轮盘上的叶片与机匣发生碰撞。以上是航空发动机发生转子碰磨的两个最主要的原因。

同样都是碰磨，为何有的会慢慢消失，有的会发生持续的剧烈振动？根据牛顿第三定律，碰磨力会在碰磨发生时同时施加在叶片与机匣上，激起叶片与机匣的变形或振动。如果很不巧，机匣振动的频率、叶片转动的频率与叶片本身的固有频率满足某些特定关系的时候，就会让叶片与机匣受到越来越大的碰磨力，产生越来越大的振幅，进而形成不稳定的振动，就好像发生了某种意义上的“共振”，最终导致危险的产生。

如果人们能够对碰磨产生的机理及其引起的一系列变形、振动等现象有比较深刻的认识，就能够在设计或者发动机运行的过程中进行一定控制与调整，在保证发动机能够在各个工况长时间安全运行的情况下，尽量减少由叶顶间隙引起的气动效率损失，将碰磨这个“怪物”牢牢地控制住，不让它胡作非为，最大限度地保障人们的使用寿命财产安全。（上海交大航空发动机研究院）

中乌航空动力合作亮相中国航展



在第十二届中国航展上，北京天骄航空产业投资有限公司及旗下重庆天骄航空动力有限公司（统称天骄航

空）与乌克兰马达西奇公司再次联合参展。

在展台现场，双方展出了4款航

空发动机，涉及涡轴、涡桨、涡扇等系列，均为首次在中国航展展示。在以发动机涡轮结构为造型的联合展台上，双方展现了合作的业务体系、发展规划及中乌航空动力合作的里程碑。这标志着双方在航空发动机领域的合作进入到新的发展阶段。

据了解，天骄航空与马达西奇展示的4款重点发动机涵盖了大、小涵道比涡扇发动机、涡轴发动机和涡桨发动机。AI-322系列发动机是新一代小涵道比涡扇发动机，其加力型为AI-322F，可满足多种类先进教练机的使用要求；TV3-117VMA-SBM1V系列涡轴发动机可用作12~15吨新型直升机和在役直升机换发的动力，优异的可靠性和在高海拔地区等极端条件下的适应能力，可满足我国在科考、物资运输、救援等方面的急需；D-436-148FM发动机是一款大涵道比涡扇发动机，适用于支线、中短途干线客机

和运输机，目前主要装配安-178飞机；MS-500V-S系列发动机是一款先进的小功率涡桨发动机，可用于通用航空、支线飞机和教练机使用。

在本次航展上还重点展示了天骄航空重庆产业基地的规划全景，未来双方将联合在这里进行航空发动机的研制。天骄航空动力产业基地位于重庆市两江新区航空产业园内，远期总体规划建筑面积200万平方米，分为发动机生产制造区、研发与综合管理区、发动机配套与燃机产业三大区域，已于2015年底正式开工建设。2017年7月底，天骄航空发动机进口关键设备到位，一期顺利完工，成功进行了某型发动机地面试车，具备了该款发动机试验验证及维修保障能力。全面建成后，该产业基地将具备涡轴、涡桨、涡扇等多系列、多型号先进航空发动机研发、批产和维修保障能力，具备年产千台航空发动机能力。（刘扬）

3D打印：打造世界效率最高重型燃气轮机9HA

对于3D打印技术而言，由于其独特的分层制造原理，简单和复杂的形状几乎可以一视同仁，只需有合适的三维模型、合适的原料和打印机，就可以立刻打印部件；因为甩掉了模具，可以用较为便宜的价格，制造出传统模具工厂无法制造出的设计；如若设计需要后期修改，只需进行设计迭代，再次打印；若零部件出现损坏，3D打印亦可不被破坏处直接打印修补，只不过所采用的技术形式不同而已。

3D打印对工业制造的颠覆性可见一斑。经过30余年的发展，3D打印早已走出研究院所并脱离了创客的自娱自乐。但工业制造真正追求的，应该是所谓的“大音希声，大象无形”。3D打印在当前发展阶段下，正是迎合了这一需求。

燃气轮机到今天已经发展了大半个世纪，想要继续进步，需要近乎登峰造极的技术能力与想象力。在不断攀登巅峰的过程中，3D打印技术可谓恰如其分，材料、计算机控制、激光等学科各个击破，弥补了传统制造方法的局限。

GE 9HA燃气轮机的核心部件之一——燃烧室燃料喷嘴和预混器就使用了增材制造工艺，微孔预混技术确保了GE低氮燃烧技术的有效发挥，再结合众多同样尖端的技术，最终成就了法国布尚电厂9HA机组打破吉尼斯世界纪录的联合循环效率——62.22%。

3D打印究竟能成就多少改变？以GE 9HA燃气机中的燃料喷嘴为例：在9HA燃气机上，GE采用先进的微管预混技术，用微孔管束替代之前大的旋流喷嘴。使用微管预混技术后，喷嘴有密集的进气微管，在每个进气微管的轴向位置有多个燃料孔。空气通过进气微管，微管预混喷嘴使用毫米级直管中的燃料和空气的交叉流喷射混合方式。这样使得燃料和空气预混效率更高，混合更加均匀，速度也更快。同时设计流速高于火焰速度，这样有利于富氢燃料的稳定燃烧。采用微管预混燃烧室后，高活性气体燃料也可采用干式低氮燃烧器预混燃烧，有效地控制氮氧化物的生成，更实现了燃料和空气的更好均相混合，保证了更好的预混燃烧，为更高的联合循环效率铺平道路。而这种结构，当前也只有3D打印可以做。

GE 9HA燃机成为全世界效率最高的燃气轮机，而增材制造为此做出了重大贡献。具体而言，3D打印技术在关键零部件上的充分应用，帮助GE 9HA燃气轮机的出力较传统制造方法增加了1%。而仅仅是这1%，GE在法国布尚电厂的9HA机组满足了大约68万个法国家庭的用电需求，也就是说，在原有能耗不变的情况下，这两个部件可帮助为额外6800个家庭提供光明。

如今，法国、俄罗斯、巴基斯坦、日本等多国电厂已经开始部署9HA燃机。2017年3月，哈电集团与GE签署了重型燃机合资协议，重点落实现中国市场的9F级和9H级燃机的本地化制造；同月，哈电集团将华电天津军粮城项目的9HA燃机合同授予了GE。届时，中国电厂将有机会直接体验到3D打印技术为尖端发电设备带来的性能提升。

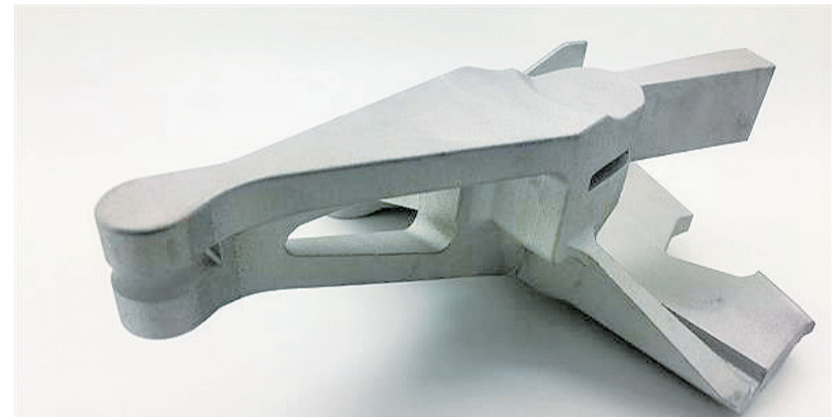
近日，西门子表示，世界上第一台用于工业燃气轮机的3D打印燃烧室已成功运行一年，没有出现任何问题。2017年，西门子在瑞典智能燃烧室制造计划（IBUMA）下生产了首台采用选择性激光熔化技术制造的32.8兆瓦SGT-7000燃气轮机燃烧室，并安装在位于德国黑森州的意昂集团联合循环发电厂，目前燃烧室已经运行8000多小时，结果令人印象深刻。

西门子指出，与传统方法相比，每个燃烧器头部都是一体化制造，而之前需要13个单独的零件和18次焊接而成。同时在设计上也有了很大改进，例如燃料进料管是燃烧室头部的一部分而不是外部燃料管，这将提高燃烧室的耐高温能力，从而有助于延长部件的运行寿命，并最终延长燃气轮机的使用寿命。

而在去年，西门子的3D打印专家们还设计并制造了世界上第一台3D打印的燃气轮机叶片，并在满负荷条件下进行了验证，每分钟转速为13000转，温度超过1250℃。

瑞典工厂的项目经理 Niklas Lange 表示：“作为能源服务提供商，精确性和一致性是我们的绝对要求，3D打印不仅提供了这一点，而且根据我们的经验，与旧型号相比，它甚至可以更高性能。”（王妍）

GE：3D打印航空发动机支架获FAA认证



11月1日，GE增材制造（GE Additive）宣布，美国联邦航空管理局（FAA）已批准3D打印支架用于Genx-2B发动机，该支架将取代传统制造的电动门打开系统（PDOS）支架。

Genx发动机是GE航空生产的一款先进的双转子轴流式大涵道涡扇发动机，使用于波音787-7、747-8及空客A350。安装3D打印支架的Genx-2B发动机将使用于波音747-8机型。

GE航空将于11月在其位于阿拉巴马州奥本市的工厂开始批量生产这款获得FAA审批的3D打印支架。3D打印支架的制造设备为GE Additive Concept Laser M2多激光器选区激光熔融系统，预计交货期为2019年1月。

3D打印的PDOS支架作用是打开和关闭发动机的风扇罩门。GE表示，与传统制造方式制造的支架相比，3D打印技术将减少高达90%的材料浪费，传统支架的制造中，因金属加工而产生的材料浪费约占50%。此外，3D打印支架采用了优化设计方案，重量比传统支架轻10%。

这款3D打印支架为GE航空创造了两个“第一”。首先，这是GE第一个获得认证的由Concept Laser选区激光熔融设备生产的3D打印零件。其次，这是GE第一次在10个月内完成一种3D打印零件的开发项目，该零件在设计到生产的全部工作都在这段时间内完成。

GE航空表示，在进行支架生产时一次打印过程中可以生产4个支架，在构建室中4个支架以互锁设计的形式实现，打印材料为钴铬合

金。实现支架的内部生产将使GE航空降低发动机支架的总体制造成本。

“我们选择这个项目是因为它代表了我们的几个第一。这是我们在Concept Laser机器上认证的第一个程序，这也是我们在不到10个月的时间内从设计到生产的第一个项目。”GE航空增材集成产品团队总经理 Eric Gatlin 说。

在传统的镍基高温合金上使用钴铬合金进行批量生产的决定使得生产更快，为了使这种方法尽可能高效，将同时打印4个支架。

使用定制的互锁设计将所有4个支架容纳在单个构建板上，Concept Laser M2连接器的激光器可以在后处理和检查之前在一次生产中打印一架飞机的支架。

最后，通过完全在内部生产支架，GE航空还将降低其生产成本。

“为了确保M2 cusing机器经过认证，符合航空航天业的严格要求，我们与GE Additive的同事们在这些方面的合作比以往更加紧密。随着我们继续考虑我们可以在GE Additive机器上设计，重新设计和制造的许多零件，我期待着将我们的团队和技术放在他们的步伐中。”Gatlin补充道。

“来自GE航空的观察团队，美国、墨西哥和德国的GE Additive合作都非常出色。在如此短的时间内，他们在PDOS支架方面表现出色，并取得了真正突破性的成功。看到M2机器生产飞行品质的硬件，并展示它真正的能力，是我们自己的增材之旅的另一个重要里程碑。”GE Additive 总裁兼首席执行官 Jason Oliver 说。（王小米）

国家电投引进中国首台套H级重型燃气轮机

11月5日，国家电投上海电力公司与上海电气、安萨尔多公司成功签订了燃气轮机设备及相关服务采购框架协议。这标志着中国成功引进首台套GT36-S5型H级燃气轮机，将有力推进我国装备应用水平的提升。

据介绍，本套燃机是自上海电气收购安萨尔多40%股权、双方共享知识产权后，第一台确认落地实施的H级燃机，整套机组采用一拖一分轴布置，单台H级机组出力高达750兆瓦，出力是国内主流燃机的一倍，机组效率逾62%。

作为我国率先示范运用该型机的工程项目，国家电投上海电力闵行发电厂燃气-蒸汽联合循环发电机组示范工程承担着推动设备引进、技术消化吸收、国产创新发展等重大责任。闵行发电厂燃气-蒸汽联合循环发电机组示范工程于2017年7月6日取得上海市发展改革委核准批复，并被列入上海市重大工程项目。项目的成功上马不仅将优化上海地区能源结构、强化负荷中心电源的支撑能力，而且将进一步创新推动H级重型燃机示范工程建设，实现我国燃机技术跨越式发展。

据介绍，为切实保障国家自主

技术装备的试验示范和推广应用，在上海市政府的支持下，国家电投上海电力公司积极响应国家发展重型燃机技术的要求，于2018年1月便启动闵行发电厂燃气-蒸汽联合循环发电机组示范工程H级动力岛与长期服务直接采购谈判工作，采用更为灵活的采购的方式向具备重型燃机自主知识产权的上海电气商谈采购H级燃机动力岛事宜。

国家电投透露，谈判中，国家电投上海电力公司全面梳理燃机各项合同条款，围绕动力岛的研发设计、技术性能、供货范围、保证指标、交货进度、制造检验、技术服务、调试试验、国产化进程等各项技术标准同各相关方进行深入交流，并开创性地建立了以自主工程检修公司为业主联合体的新模式，最终取得了丰硕的谈判成果，为H级燃机主机采购合同在进口博览会上签订奠定了坚实基础。

国家电投表示，闵行燃机示范项目首台套H级燃机主机合同成功签订，为上海2020年再添一家绿色、智慧、低碳、零废水排放的现代化燃机示范电站提供了保障，为我国“两机专项”取得重大突破夯实基础。（周锐）

赛峰3D打印发电机壳体部件

法国赛峰电气与电源公司凭借90多年的经验，为空中客车和波音飞机测试、维修和安装发电系统。

近期，赛峰电气与电源公司与英国增材制造软件Betatype公司合作开发3D打印的电机外壳，通过3D打印技术以及增材制造设计，电机外壳的设计得到优化。

Betatype公司在增材制造设计领域有着很多案例积累，例如3D打印铝合金热交换器设计、3D打印点阵轻量化结构设计等。

Betatype Engine-Platform软件中有开放的Arch格式，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。Engine-Platform将在粉末床熔融3D打印系统中处理即将用于生产的设计，最后，Engine-Platform将评估激光的最佳运动，以产生零件的精细细节。

通过这个软件，法国赛峰的团队完成了电动机外壳的3D打印，其改进的轻量化设计具有更高的强度和更高的刚度。

Betatype团队在设计夹层结构时，在夹层之间使用了超高密度晶格，夹层结构包括超过1000万

个元素。Betatype公司表示，应用Engine-Platform中的技术和多尺度方法，能够将扫描路径和曝光设置控制到夹层结构设计的每个元素，在这种情况下，粉末床激光熔融工艺超过其标准工艺，从而创造出所需的超高密度点阵结构。

赛峰这款3D打印发电机外壳，从过去由几个复杂加工零件组成的部件转变为一个功能集成的部件，因此整体零件数量和制造时间得以减少。（李想）

