科技大讲堂

- 它能让看不见摸不着的流场显露“真容”
- 它是飞行器气动力学研究的“透视镜”
- 它为高超声速飞行器研制提供有力支撑

国防科技大学空天科学学院副教授何霖为您讲述——

神奇的流场可视化技术

■本报记者 王握文 通讯员 宁凡明

流场，物体飞行所形成的特殊空间

空气无处不在，却看不见摸不着。当人们要形容某个“不可能”的事物时，往往会说“好比要将空气抓在手里一样难”。其实，空气也是一种物质。从中，人们已经探知总结出空气动力学、流体力学、飞行原理等诸多专业知识。

人们在生活中常常会发现，当有空气流动经过物体，或者物体在空气中运动时，或多或少都受到空气的作用，并产生一些不可思议的神奇现象。比如，飞机能够在天空飞行而不会掉下来，足球比赛中的“香蕉球”“电梯球”令守门员防不胜防，表面光滑的高尔夫球却没有表面粗糙的高尔夫球飞得远等等，皆因受到空气的影响。

在物体或飞行器飞行过程中，它被周围围绕着的空气形成了一个相对运动的特殊空间环境，即流场——能对物体或是飞行器产生影响的流体流动所占据的空间，也可以理解为某一时刻由物体或飞行器飞行所引起的气流运动的空间分布。

流场里蕴含着许多科学奥秘，都与物体运动特别是高速飞行紧密关联。从地面上高速行驶的列车到天空飞行的飞机、导弹等，无不需要考虑流场的影响，并巧妙地“取长补短”，顺势而为。

以飞行器为例，飞行时周围区域的空气速度、压强、温度等参数，在时间和空间上会发生变化。科学家运用这种变化产生的气动力，通过对飞行器推进系统、外形设计、速度设定与操控，让飞行器获得与重力方向相反的升力，从而使它能翱翔蓝天。同时，运用“气动力作用点与飞行器重心不重合”而产生的力矩作用，来改变飞行姿态、调整飞行方向。比如，让战斗机俯仰、盘旋、滚转以及做“眼镜蛇机动”等。

当然，流场对飞行器带来的不利因素同样需要加以克服和削减。如高速飞行器与空气产生摩擦的“气动加热”现象，必须进行热防护设计和采用防烧灼优质材料。正如我们看到“神舟”飞船返回大气层时产生的烧灼而不会影响航天员安全一样。

由此可见，流场对飞行器的飞行性能与安全举足轻重。了解流场的特性，是飞行器设计与研制的关键要素之一。

看不见的流场，如何让它显露“真容”

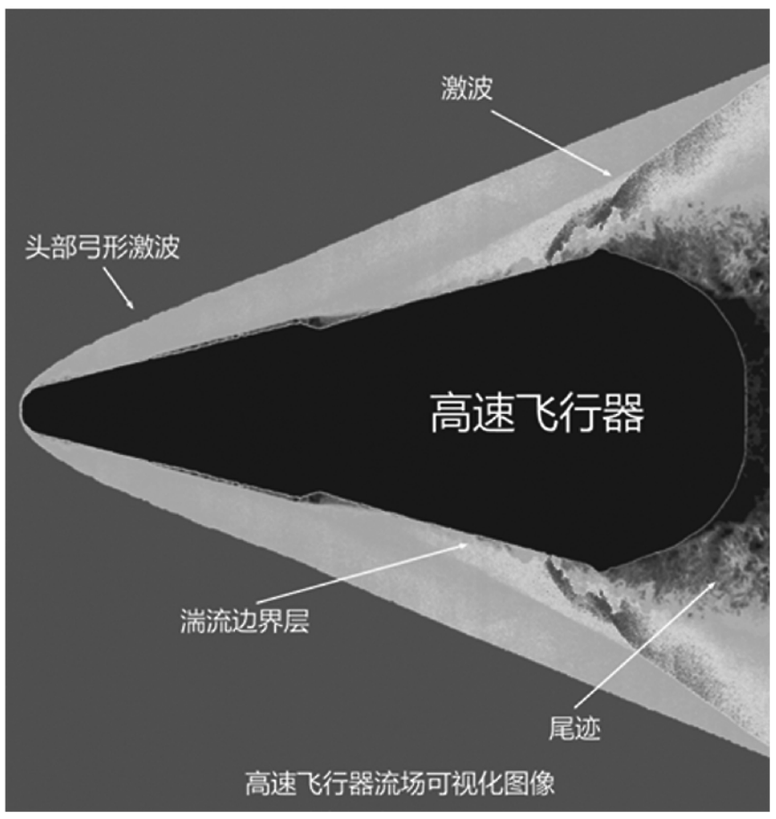
流场相对于一般的科学研究领域，更加神秘莫测。因为流体的运动是一个非常复杂的过程，涉及众多学科。流体力学的主要任务，就是研究流场中的流动问题。

流场的复杂性在于，流场里既有相对均匀的气流、略有弯曲的流线组成的气流，又有大大小小、以不同方向和不同速度旋转的旋涡。就如同在水流中看到的漩涡一样，这一切使得流场中不同位置上的速度和方向不断改变、难以捉摸，专业上称之为“奇异线流场”。

研究如此复杂的流场，首先遇到的问题就是如何让其看得见摸得着。早在1883年，英国科学家雷诺通过用滴管在流体内注入有色颜料的方式，观察水流的运动现象。当水流速度较慢时，水流呈现层状有序的直线运动，相互平行的水流之间没有相互运动；当流速增大时，水流则呈现无规则的杂乱运动，出现相互掺混的现象。由此，发现了“层流”“湍流”两个科学概念。

从水流联想到空中，夏天在家里点燃蚊香的烟、工厂烟囱冒出的烟，有时也会产生相似的流动现象。后来，奥地利科学家马赫利用纹影可视化技术，在研究飞行抛射体时，发现了只有物体在运动速度超过声速时，物体前方才会存在流动现象。这成为超声速空气动力学研究的一个重要成果。

此后，流场可视化技术不断发展，特别是随着计算机技术的迅速发展和高分辨图形显示设备的出现，流场可视化技术相继出现了壁面示踪法、丝线法、直接注入示踪法、化学示踪法、电控法及光学示踪法等多种类型几十种方法，实现了在同一时刻描述全场流态的技术跨越，让看不见、摸不着的神秘流场，变成了“可见”和“可感觉到”。



高速飞行器流场可视化图像

如今，流场可视化技术不仅应用于流体力学和空气动力学的基础研究，在航空航天、交通运输、桥梁建筑、大气海洋、医学生物等领域也获得了广泛应用。

新型流场可视化技术，助推高速飞行器研制

借助流场可视化技术，科研人员可以直观了解飞行器流场的复杂空气动力现象，探索飞行器流场物理机制和运动规律，研究和解决困扰飞行器研制的相关技术难题。

如通过流场可视化技术，摸清并掌握了机翼如何产生旋涡的现象，直接推动了飞行器设计创新突破，鸭翼布局、边条翼布局等主流战斗机应运而生。通过对飞行器表面流动开展可视化研究，确定气流分离出现的具体位置，有效解决了飞行器表面气流分离现象可能导致其失速的安全问题。

由此可见，流场可视化技术在航空航天领域有着十分重要的作用。它能直观揭示飞行器流场形态，帮助科研人员研究和掌握飞行器流场物理机制和气动规律，直接助推飞行器的发展。

让飞行器飞得更高、更快、更好，是人类的不懈追求。然而，随着飞行速度的不断增加，飞行器与周围空气相对运动时产生的流动现象越发复杂，传统的流场可视化技术已显得“力不从心”。特别是高速飞行器流场动能大、滞止温度高，强烈的激波和黏性摩擦阻力，使飞行器流场温度加热到数千摄氏度，流场表现出的非线性、非平衡、多尺度等特征，可导致飞行器流场特性剧烈变化，变得更加难以预测，严重制约和阻碍了高速飞行器的发展。

近年来，流场可视化技术日益受到世界军事强国的高度重视。为准确、全面地再现复杂多变的高速飞行器流场，破解制约高速飞行器研制的空气动力学难题，许多国家正致力于发展性能更加优良的高速飞行器流场可视化技术。

经过不懈探索和大胆创新，目前已有多种新型流场可视化技术相继问世。其中，一种“基于纳米示踪的高速流场可视化技术”，通过以纳米尺度粒子为示踪物，较好地解决了传统微米示踪物不能准确反映真实流动的难题，其成像信号比分子示踪物的成像信号大幅增强，使流场可视化质量得到极大改善和提升。它能对流场速度场、密度场、湍流脉动及气动光学波前等飞行器流场参数进行高分辨率试验测量。

该技术在高速飞行器流场方面取得了较好效果，逐步实现了对超声速、高速飞行器流场的高质量可视化，解决了一系列困扰高速飞行器气动设计相关的关键技术问题。同时，也推动了高速飞行器湍流基础研究的进步，为破解高速飞行器气动难题提供了关键技术支撑。

如同显微镜的发明开启了研究微观世界的新纪元一样，随着新型流场可视化技术的发展，科学家们将获得更加准确的精细流动图像和流场信息，为研究和破解高速和高超声速飞行器面临的空气动力学问题，打开一扇新的窗口。

未来，不断涌现的各种新型流场可视化技术，将成为高速飞行器发展的强大助力。

左上图为高速飞行器流场可视化图像。

版式设计：梁 晨

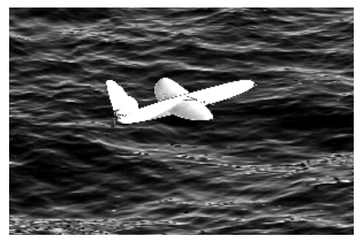
科技云

科技连着你我他

■本期观察：张 曦 赵 冬 陈 明

3D打印，又称增材制造，指运用可黏合材料通过逐层添加材料的方式构造物体的技术。它具有快速、精确、低成本等优点，被认为是21世纪具有颠覆意义的前沿科技之一。近年来，3D打印在医疗、军事、航空航天等领域的应用成果不断涌现，展现出很大的应用潜力和发展空间。

3D打印无人机



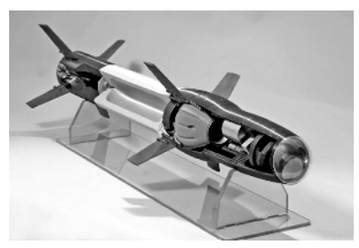
前不久，英国海军在海上成功试飞了一架名为“SULSA”的无人机。这架无人机翼展约2米，重约3公斤，巡航时速约96公里。

与传统无人机不同的是，其4个主要部分都是由3D打印机制作完成，材质为尼龙塑料。出海执行任务时，军方只需携带3D打印机、原料和部分组件，短时间内即可完成组装。

据悉，制造一台“SULSA”的成本仅为数千美元，这和以往军事专用无人机上百万美元的造价相比优势非常明显。

参与研制的专家表示，利用3D打印技术制备成本低廉的无人机，能够很好地满足军用需求。

3D打印导弹



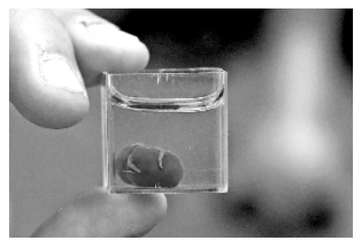
信息化作战的代表兵器——制导导弹，理论上已经能够通过3D打印制造出来。

前不久，国外一家公司通过3D打印，制造出了火箭发动机、导弹体鳍、引导和控制系统部件等制导导弹的核心部件。“未来，战场上的坦克、战斗机、高射炮等武器，或许都将变成‘3D打印制造’。”该公司一名工程师表示。

据介绍，3D打印导弹与传统制造方法相比，不仅能够降低成本，还能极大缩短导弹零部件的设计和更新时间。

此外，3D打印技术作为一种新型生产方式，本身具有很强的延展性和创造空间。“3D打印技术解除了弹头制造中的各种限制。”该项目工程师介绍，他们正在使用3D打印技术，改善导弹的热力学性能，并尝试以前使用其他制造方法无法实现的设计。

3D打印心脏



据统计，目前全球有数十万人在器官移植的名单上，等待着器官捐赠来挽救他们的生命。然而，捐赠的器官始终供不应求。

去年，以色列科学家3D打印出全球首颗拥有细胞、血管、心室和心房的“完整”心脏，为未来打印可用于移植的心脏等器官提供了可能。

研究人员从患者身上提取了脂肪组织，分离出细胞和细胞外基质，然后将分离出的细胞与特制的打印材料混合，最终打印出心脏组织。据介绍，此次3D打印心脏的突破点在于，它是世界上首个利用患者自己的组织，3D打印出具有血管组织的三维人造心脏。与传统的器官移植相比，这颗心脏的“打印原料”和“黏合胶水”均来自患者自身。这样，就会使排异反应和并发症风险降到最低。

尽管3D打印心脏技术在一步步从科幻小说走向现实，但它最终是否能替代心脏移植，还需要时间来“评判”。

勇攀国防科技高峰

■军事科学院军事科学信息研究中心 蒋玉娇 李晓松

论 见

习主席今年5月29日给25位科技工作者代表回信中指出，要勇于攀登科技高峰。对军队科技工作者来说，就是要勇攀国防科技高峰。这是实现建设世界一流军队目标的必由之路，也是国防科技创新综合实力的重要体现。

坚定勇攀国防科技高峰的理想信念。“海到天边天作岸，山登绝顶我为峰。”勇攀国防科技高峰的信念，是攻克科技艰难险阻的动力源泉，能激发出令人难以想象的力量。新中国成立之初，我国基础薄弱、技术落后、人才短缺，国防科技发展处于“低谷”。但广大国防科技工作者以坚定的信念照亮前路、以不懈的奋斗攻坚克难，抢登了“两弹一星”等一系列科技创新高峰，取得了举世瞩目的辉煌成就。当前，国防科技已从以跟跑为主发展到部分并跑、少数领跑并存的阶段，我们更应清醒地认识到，我国国防科技创新基础依然薄弱、短板瓶颈依然突出、关键技术受制于人的局面依然没有得到根本性解决，更需要广大科技工作者砥砺前行，勇攀新时代的国防科技高峰。

打牢勇攀国防科技高峰的人才基石。“功以才成，业由才广。”人才是国防科技创新的第一资源，是勇攀国防科技高峰最为活跃、最为积极、最为关键的因素。当前，我国国防科技人才基础发生了翻天覆地的变化，但依然存在结构性矛盾。必须着力破除国防科技人才管理使用的体制性障碍和政策性问题，培养造就一批既能“仰望星空”、又能“脚踏实地”的战略帅才，首屈一指、突破“卡脖子”技术的高层次领军人才，勇立潮头、锐意进取，为攀登国防科技高峰奠定人才基础。

构筑勇攀国防科技高峰的制度环境。事业发展，政策先行。营造“人人想创新、人人能创新、人人争创新”的国防科技政策制度环境，是攀登国防科技高峰的催化剂和助推器。必须紧紧扭住国防科技计划统筹、资源调配、成果转化、项目考核、绩效分配、自主科研等制约国防科技创新的政策性“旋转门”“玻璃门”和“弹簧门”，尽快出台政策法规的“创新特区”和“试验田”，形成鼓励原始创新、前沿创新和颠覆性创新的制度环境，充分发挥政策制度的规范、引导、保障作用，形成强大政策合力，为勇攀国防科技高峰保驾护航。

空天无人化作战

■吴明曦

科普笔记·AI与军事

未来，空中有人作战平台的数量将会逐渐减少，而以AI主导的无人作战平台数量将会越来越多。前期以有人/无人协同作战为主，后期可能以无人平台作战为主。空中无人平台主要包括远程无人轰炸机、无人隐身作战飞机、系列化无人侦察机与察打一体无人机、多样化机载武器与防空反导武器等。

典型空中无人化作战包括：单一无人平台作战、忠诚僚机协同空中作战、预警机+混合编队空中作战、有人/无人协同对地作战、空射无人机蜂群作战、陆空联合无人化对地作战、反隐身反高超反蜂群作战等。

2020年2月底至3月初，土耳其对叙利亚发起“春季盾牌”军事行动，出动大批察打一体无人机，在预警机和战斗机的掩护下，重创了叙军地面部队。这是人类战争史上无人机首次作为空中打击力量，大规模用于对正规军作战的重大案例，特别引人关注。

目前，太空还是人类的一片“净土”，太空攻防和作战，受到国际社会和国际公约的制衡。但世界各军事大国在技术上和科研上，纷纷投入巨资，对进入空间、利用空间和控制空间等各种技术途径及方案进行探索，有可能引发太空军备竞赛，加剧太空军事化的进程。

太空无人化作战主要包括三个方面：

——天基可控无人化作战。考虑到硬摧毁会带来空间碎片等隐患和灾难，因而太空作战主要表现为可控无人化作战。重点是对空间信息链路实施欺骗和干扰、运用定向能武器实施非爆炸性软硬杀伤、通过空间机器人和机械手对在轨卫星进行捕获和拆卸。

——亚轨道高速对地对海打击。亚轨道是指海拔在100千米到300千米之间的空间。由于在此范围内的飞行器，处于不稳定、逐步下降的绕地球飞行，通常可以在太空滞留一周到一个月的时间，最后坠入大气层。利用这一特性，可在战前数周发射亚轨道飞行器，进行绕地球变轨飞行，根据需要实施变轨控制，再入大气层对地对海高价值目标实施高超声速打击。

——临近空间信息支援与打击。临近空间一般指距海平面30～100千米的空域。临近空间平台通常由飞艇、气球等浮空器组成。这类平台既可以装载雷达、光电探测装备、通信中继设备，也可以装载信息干扰与打击武器。浮空器上的探测设备一旦探测到战场目标，即可解锁挂载武器，实施对空对地对海信息干扰与攻击，也可将目标信息传递给地面或机载高超声速武器，实施快速打击。

胡三银绘