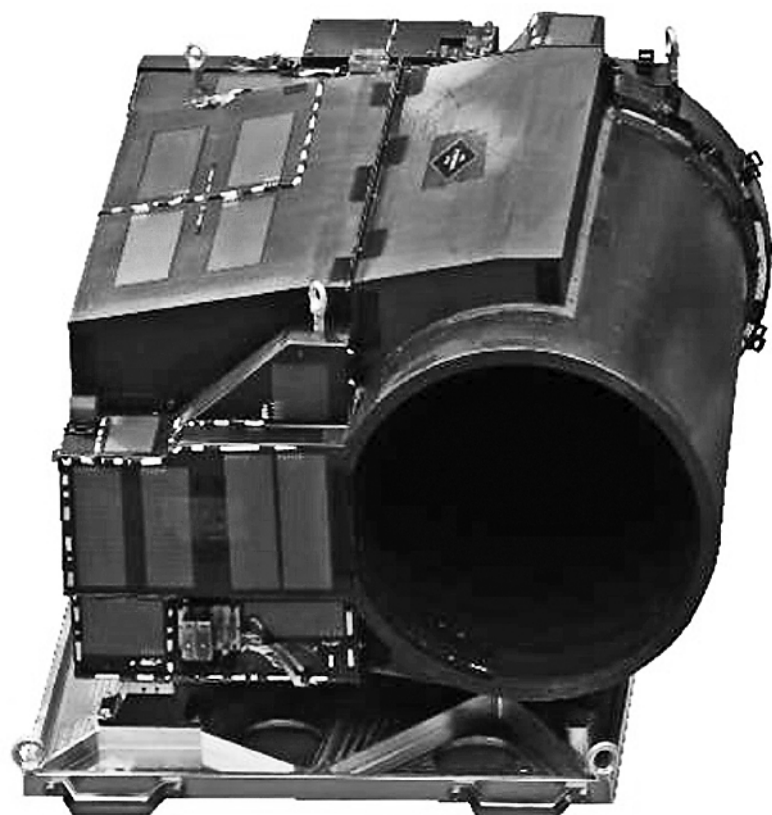


- 在距目标200千米开外即可“明察秋毫”
- 凭强壮“骨骼”既身轻如燕又稳如泰山
- 像拖布定向拖地一样可实现“推扫成像”

「天问一号」拍火星的相机不一般

孟庆宇



图为“天问一号”高分辨率相机。

高分辨率的秘密：长焦距离轴光学系统

这部高分辨率相机，能在距离目标265千米处实现0.5米分辨率的光学成像。这就如同站在长春市市中心观看沈阳市中心的一台轿车，甚至可以分辨出是三厢车还是两厢车，绝对称得上是“明察秋毫”。具备这一非凡功力，首先要得益于先进的光学系统。

光学系统是相机的核心部分，它能把远处的景物成像在感光元件上，从而实现照相功能。像素分辨率是我们最关注的相机性能指标，表示照片上的1个像素对应远处被拍摄景物的尺寸。根据几何光学物像关系，分辨尺寸、照相距离（卫星飞行高度）、焦距、像元尺寸等4个参数，构成一个相似三角形的几何关系。从这个关系可以得出，相机分辨率越高，光学系统焦距就越长，相应的镜头口径就越大。

小型光学系统，如常见的消费级单反镜头、手持望远镜等，基本上由光学玻璃制造的透镜组成，其特点是焦距短，分辨率低。由于大尺寸的优质光学玻璃难以制造，且光学玻璃自身力学、热学性能欠佳，容易产生色差，因此长焦距大口径的光学系统基本采用反射式光学结构。

在反射式光学系统中，透镜功能由反射镜代替。其中，可使光线汇聚的凸透镜由凹面反射镜代替，可使光线发散的凹透镜由凸面反射镜代替。大型天文望远镜以及高分辨率航天相机中，均使用反射式光学系统。

反射式光学系统按照光照特性可分为两大类：同轴光学系统和离轴光学系统。

同轴光学系统中，每个反射镜都是旋转对称的。这一特点，使得反射镜的加工难度与光学系统的装调集成难度都相对较小。受限于制造水平，大部分反射式光学系统基本上采用同轴结构形式。

离轴光学系统中，大部分反射镜没有旋转对称轴，反射镜位置的空间布局更为复杂。这种非对称光学系统的反射镜加工难度与系统装调集成难度都很大。

虽然离轴光学系统实现难度大，但其性能有很多过人之处。最重要的一点就是，在离轴光学系统的成像光路中，任何一个反射镜都不会对其他反射镜造成孔径遮挡，从而使光学系统有效口径降低。

光能量的收集能力决定着光学系统的分辨率。比如，在同轴系统中，次反射镜会对主反射镜造成孔径遮挡；如果反射镜数量增多，造成的遮挡效应也越大。这种感觉就像在眼镜中心贴上一片黑色不透光的胶布，不仅影响了本应该被眼睛收集的光能量，同时也造成光学系统分辨率下降。具有相同光学口径的离轴光学系统，比同轴光学系统有更强的分辨能力。

“天问一号”高分辨率相机的光学系统，采用了不具孔径遮挡的长焦距离轴三反射镜光学系统，由3个具有光焦度的反射镜和一个不具有光焦度的平面反射镜组成。

光学系统焦距拉长，镜头尺寸也随之增长。为了压缩体积尺寸，适应深空探测任务中相机重量资源极为有限的条件，高分辨率相机光学系统中的3个非球面反射镜，采用了高陡度大偏离量的高次非球面。项目团队克服光学系统设计、加工与检测等重重困难，最终将光学系统主反射镜与次反射镜之间的距离缩小至750毫米以内。这对于焦距为4640毫米、视场角为2°的离轴反射式光学系统，体积尺寸表现极为优秀。

另外，为使光学系统在具有良好成像质量的同时，尽可能保证较为宽松的装配公差，项目团队在光学系统设计过程中，应用了低敏感度光学系统设计方法。

超轻量化与超稳定性的诀窍：全碳化

相机结构是相机的“骨骼”，为光学、电子学和热控等系统提供支撑，确保光学系统位置状态的稳定。由于空间相机的光学系统极为精密，光学反射镜需要按设计位置高精度安放，才能确保光学系统良好的成像质量。

火星探测器发射时，对相机的冲击震动极大，相机结构需要在剧烈变化的力学环境中，使相机中每个光学元件保持位置稳定性，确保每个元件的位置变

动在5微米内。这就需要相机的“骨骼”极为强壮，也就是专业上所说的“结构应具有高刚度”。

但是，深空探测重量可分配资源极为有限。这部焦距近5米的相机，可设计质量仅为43千克，如何使相机结构设计得既“身轻如燕”又“稳如泰山”，是一项极具挑战性的任务。经过科学论证，项目组提出了“全碳化”相机的设计理念。

在光学反射镜材料上，主反射镜与三反射镜均使用了具有低密度、高弹性模量、高热导率和低热膨胀系数的碳化硅材料。通过设计，反射镜在87%轻量化率的情况下，仍能保证良好的力学性能。

相机结构的框架，由碳化硅铝基复合材料制成。通过优化设计，确定框架的材料分布，形成加强筋与薄板组合的轻量化结构，轻量化率达到90%以上，且具有很高的结构刚度。连接框架的支撑杆，由高模量碳纤维复合材料制成，每根近1米长的支撑杆，重量仅500克左右。

这样轻量化的高光机结构，在火箭发射冲击振动等严苛力学环境下，可保证光学反射镜的间距最大变动量不超过5微米。对于750毫米左右的反射镜设计间距来讲，相对变化量不到十万分之一，真正算得上是“稳如泰山”。

一机完成多种任务的关键：两种“视网膜”

聚焦成像探测器是相机的“视网膜”，光学系统将景物成像在探测器上，从而完成拍摄。

为了获得更多的科学产出，高分辨率相机规划了多个科学目标：包括对火星表面重点区域精细观测、长期重复覆盖观测，对着陆区域高分辨率观测，对火星天气现象动态观测等。不同的科学目标，需要用到的“视网膜”也不相同。

高分辨率相机充分利用独特的光学视场，在一个像面上巧妙地设置了两种类型的成像探测器：多光谱TDI-CCD探测器和全色面阵CMOS探测器。3片多光谱TDI-CCD探测器呈“品”字形布局在像面，2片全色面阵CMOS探测器则分布在像面两端。

TDI-CCD探测器是一种线阵成像的探测器，成像时通过景物与探测器的相对运动而不断输出图像。这种成像方式叫作“推扫成像”，其工作原理就像拖布定向拖地一样，所拖过的区域是完成的成像区域，拖布的宽度就是成像的幅宽。这类类似于我们拍大合影时的转机照相，照片的长度方向是TDI-CCD“推扫成像”方向，也是相机和卫星的飞行方向，照片宽度则是成像幅宽。

高分辨率相机的TDI-CCD探测器配置有全色、彩色（红、绿、蓝）与近红外5个成像波段，可以同时推扫出全色图像、RGB彩色图像、近红外图像。“天问一号”高分辨率相机在距火星表面约330~350千米高度拍摄的0.7米分辨率全色图像，即是应用TDI-CCD探测器推扫拍摄的。

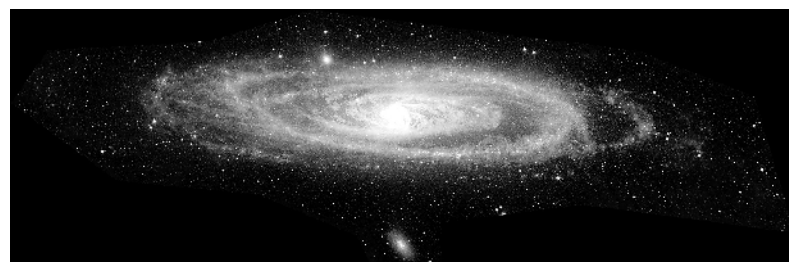
全色面阵CMOS探测器与我们日常使用的单反相机的探测器功能一样，既可实现画面阵成像，又可实现视频成像。“天问一号”高分辨率相机在距离火星约220千米处拍摄的首幅火星图像，就是全色面阵CMOS探测器的杰作。

（作者系中国科学院长春光机所副研究员、“天问一号”高分辨率相机副主任设计师）

版式设计：梁晨

宇宙中是否有外星人

李会超



图为红外望远镜观测到的仙女座星系图像。科学家正尝试监听来自这个星系的信号，从中寻找地外文明存在的可能线索。

科学家聊宇宙

当人们将目光投向宇宙时，往往会很自然地思考：除了人类，是否还有外星人？

在天文观测手段尚不先进的年代，人们甚至认为，地球近邻火星上也有智慧生物建立的文明。1924年，美国在地球与火星距离达到一年中的最小值时，组织全国中断一切无线电通信5分钟，给海军天文台监听“火星”信号创造条件。当然，我们已知火星上并无智慧生物，这次监听因此一无所获。

放眼全宇宙，虽然新的天文学发现层出不穷，但时至今日，人类也并未真正找到地外文明，也就是我们常说的外星人存在的证据。

“不明飞行物”（英文简称UFO）常常被一些人视为外星人来过地球的证据。然而，“不明”并不意味着来自其他星球，而仅仅意味着无法根据观察者的记录来描述，确定天空中飞行的物体是什么。实际上，大部分的UFO事件报告，目击者看到的是已知物体或现象，只是由于视觉误差，或是现象本身超出了观察者认知范围，才造成了对UFO的误判。

一个著名案例是1989年的比利时“UFO浪潮”：那段时间，一组逻辑的比利时警察发现并追逐了天空中由3个亮点组成的神秘物体，比利时空军战斗机雷达也发现了这些无法识别的神秘目标。然而，事后分析表明，警察们看到的物体，很有可能就是行星和亮度较高的恒星组成的图案，而物体的“移动”则来自警察们的错觉。至于战斗机雷达探测到

的目标，极有可能是有高空大气湍流形成的假回波。

上世纪六七十年代，科学家组成的委员会在对大量UFO事件进行分析后，形成了《UFO的科学研究》报告。报告指出，UFO是外星人飞行器的可能性微乎其微。自此，科学界基本上不再对各类UFO事件与地外文明的关联进行研究。

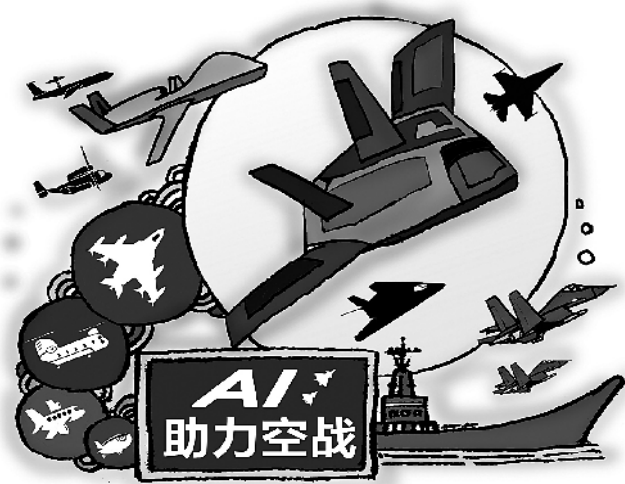
不过，“靠谱”方法搜寻地外文明的尝试从未停止。1960年，天文学家弗雷德里克提出了“水洞”概念。他认为，如果外星人与我们具有相同生命体构成方式，自然会认识到水这种物质对生命的重要性。在1.4兆赫兹附近，有一个位于氢元素和氦元素构成的无线电谱线之间的频段，刚好可以用来叠加人工信号，这个频段被天文学家称为“水洞”。“水洞”，是目前搜寻地外文明最常用的频段。

“中国天眼”FAST的任务之一，就是搜寻地外文明发出的射电信号。FAST已列出计划，利用灵敏度高的优势，在“水洞”频率附近对仙女座（M31）星系进行监听。如果在仙女座的一万亿颗恒星中真的存在地外文明发出的信号，那么FAST一定能捕捉到它。

除了试图接收地外文明发出的信号外，科学家也进行过几次主动向宇宙发射信号的尝试。1974年，射电望远镜“阿雷西博”向球状星团M13发射了一束信号。如果地外文明能够解码这束信号，就可得到数字、DNA结构、人体外形等图形。在这次发射之后，又有类似类似的尝试。但迄今为止，尚未收到来自宇宙中的任何反馈，人们一直在期待！

AI助力未来空战

魏岳江 于童



胡三银绘

有人战机飞行员提供关键数据，从而支持以飞行员为中心的作战行动，达到把AI无人机与有人战机结合起来的目的。

未来，无人机可作为僚机，与有人战机协同作战。作战时，有人战机发挥作战网络节点作用，无人机则在前面冲锋陷阵，保护有人战机免遭打击。而大型有人战机将控制附近的一支无人机队或无人机蜂群，支援配合各军兵种，参与火力支援、战场侦察、电子对抗、通信中继和引导打击等任务。

届时，有人战机就像飞行传感计算机，能获取大量数据，并自行计算、分析和判断，然后向飞行员的头盔显示屏上传结论。飞行员对所获信息进行分析处理，根据作战计划、战场态势、编队配备的武器等，制订作战方案，再下达给无人机，由此实现有人战机指挥无人机协同作战的目标。

如此作战模式，可弥补无人应对突发情况时指挥与决策能力不足的短板，还能降低有人战机执行高危任务的作战成本和未知风险。

未来，AI助力无人机，实现由人控制向自主侦察判断、选择目标打击、配合支援有人战机、精确打击地面目标发展，智能“含金量”将进一步增大。

AI与军事

随着AI应用于无人化武器，无人机上的设备性能也在不断提升。它将集侦察、校射、监视、战果评估、目标识别、引导攻击、无线电中继等功能于一身，使人机一体化作战成为未来空战的基本特征。

无人机一旦发现目标，就能快速将目标方位、面积大小等图片信息传至己方指挥中心或无人机操控员，通过人机交互完成作战任务。当AI助力无人机实现察打一体后，无人机部队或成为空军的一个新兵种。

目前，俄军工正为俄空军研发“闪电”多功能无人驾驶系统。装备该系统的喷气式无人机，可从载机平台成群放飞，配合有人战机摧毁敌军防空系统，或独立执行摧毁敌军防空系统的任务。

据报道，美空军将扩大无人人与有人战机之间的组合数量，还宣布了“天空博格”项目。该项目将研发一种以自主性为重点能力、使空军能操作和维护低成本的协同型无人机。其基本目标是，让无人机系统升空后，向空军

士兵新宠：AR战术眼镜

封昊 赵梓涵 梁晨



图为单兵佩戴的AR战术眼镜。

兵形象往往浮现在人们脑海中，那高冷形象总会透着一丝神秘。

其实，佩戴单兵战术眼镜不是为了“酷”，而是为了保护士兵的眼睛。在作战和日常训练中，灰尘、破片、高速撞击和激光辐射等，会对作战人员构成较大威胁。一旦眼睛受伤，士兵就基本丧失了作战能力。为此，单兵战术眼镜应运而生。

随着科技快速发展，未来战争朝着信息化、智能化方向加速演进，普通的单兵战术眼镜难以满足单兵作战需求。于是，不少国家便开始在单兵战术眼镜上“做文章”。

近日，已有外军研发出AR战术眼镜。该眼镜拥有屏显、传感器、单兵计

算机以及3片穿戴式电池，可为作战人员提供大量的数据信息。这些数据信息包括导航指引、敌友位置、热成像、面部识别以及各种用于训练的虚拟现实角色等。

这样的AR战术眼镜，如今正向着全息屏显、战场数据分析、自身体征测量等功能方向研发。同时，随着软件升级，该眼镜可为士兵搭建各种场景，模拟实战环境。

AR战术眼镜还自带人工智能深度学习功能。佩戴者在同训练人员交锋中，就像面对真实世界的敌人一样，可不断积累数据经验，学习战术战法，以及纠正一些不符合战场环境的战术动作。通过迭代，系统还能获得相关

战术评估指标，并将相关数据输入系统大数据中，与平均值对比，以评估士兵在执行任务中的表现。

据悉，AR战术眼镜还可通过蓝牙，接入步枪所安装的热像仪中，从而显示瞄准十字，达到“一枪在手，抬手即中”的效果。

为挖掘更大作战潜力，相关研发团队还将努力尝试更多可能。比如：用传感器感受自身热量消耗，或通过传感器接收昆虫一般的小型无人机，来获取作战人员所处的地形、面临的威胁、未来的天气等信息，最终通过单兵计算机评估数据进行分析，为士兵提供客观而真实的指标参考，辅助士兵作出决策。

新看点

随着AR现实增强技术兴起，未来部队单兵训练作战系统也将逐步朝着交互式方向发展。这其中，就包括野外作战时既能保护眼睛又可实时获取信息的重要装备——AR战术眼镜。

谈起单兵战术眼镜，佩戴墨镜的士