

## News &amp; Highlights

## “天空之眼”向全世界开放

Chris Palmer

Senior Technology Writer

2022年11月，空客公司（荷兰莱顿）将其Pléiades Neo地球观测卫星中的第三颗和第四颗送入轨道，至此这家航空航天巨头拥有了迄今为止最先进的极高分辨率（30 cm）商业光学卫星星座之一[1]（图1）。这些卫星每天最多可拍摄 $2 \times 10^6$  km<sup>2</sup>的土地，并以前所未有的速度传输数据，成为了卫星图像主流化的典范。卫星图像曾经是军方和政府的专有领域，但从现在起至未来十年内，其有望发展成125亿美元的产业。

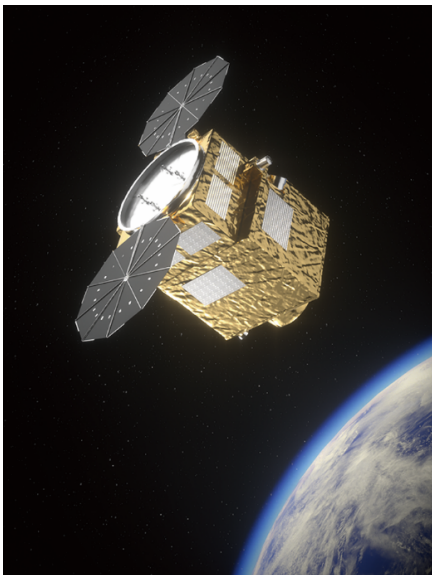


图1. 一位艺术家对空客公司Pléiades Neo星座卫星的构想。这些卫星以30 cm的分辨率对地球表面进行成像，并在六个不同的光谱通道中捕获成像数据，每个通道都针对植被和水体等特定特征进行了优化。来源：空客公司（公共领域）。

目前，在轨运行的地球观测遥感卫星有700多颗，预计在未来十年内，这一数字将增加一倍以上（对空间碎片问题略有影响[3]）。过去每张要花费数万美元的高分辨率卫星图像，现在用一杯咖啡的价格就可以买到[4]。随着成本的降低，用户群也逐日增加。企业可以利用这种近乎实时的信息来进行财务决策，科学家可以利用它来跟踪地球上无数特征的变化，而非政府组织亦可用其监测非法活动。

位于美国弗吉尼亚州费尔法克斯的航空航天和国防工业分析公司Teal Group的空间分析师Marco Caceres表示：“这些卫星图像的潜在用途几乎是无限的，具体用在哪儿就取决于掌握这些图像的人员的想象力了，而现在几乎每个人都能拿到这些图像。”

早期地球观测卫星和自卸卡车一样重，成本也高达4亿美元，而现代版本的卫星通常仅有烤面包机的大小，成本只有100万美元或更少，并且可以在工厂里大规模生产。现代小体积卫星反过来又促进了专为发射大量小型卫星而设计的廉价火箭的兴起。随着越来越多的地球观测卫星入轨运行，拍摄的地球图像也越来越多，一些地区甚至每天会被拍摄数次。

尽管许多促成更小卫星和火箭的技术创新均在美国研发，但美国法律最初禁止非政府组织使用这些技术。安全世界基金会（Secure World Foundation，一家总部位于美国华盛顿特区的咨询服务机构，专注于空间可持续性问题）方案规划总监Brian Weeden表示：“政策已经滞后于

技术发展，特别是在美国。”

多年来，由于担心政治对手可能获取危及国家安全的图像，美国商务部对卫星成像公司进行了严格监管。但是，随着世界各地的公司开始涌入全球市场，提供可与军方所供最佳图像相媲美的图像，该机构在2020年7月大幅放松了限制[5]。新的规则允许卫星成像公司在其他国家已经将这种图像用于商业用途的前提下，以特定的分辨率出售特定类型的图像。此外，该规则还取消了先前对雷达成像、夜间成像和短波红外成像的限制。但是，拍摄其他在轨物体的照片仍然受到严格管制，因为这种“非地球成像”可能会暴露出伪装成太空垃圾的美国间谍卫星。

虽然间谍活动曾经是这些“天空之眼”的实际目的，但卫星图像现在正被用于更多的目的。例如，保险索赔调查人员可以使用卫星图像快速查看风暴前后建筑物的状态，并查看损坏发生的确切时间，以确定客户索赔的有效性[6]。地球观测数据在大宗商品交易中也变得愈发重要，它为投资者提供了可靠和准确的数据（包括天气异常、主要港口的交通堵塞和库存积压情况等），为决策提供参考[7]。科学家们已经使用卫星图像来定位以前未被发现的考古遗址[8]、计算大象数量[9]、测量大气中的甲烷[10]以及追踪全球贫困情况[11]。非营利监察组织利用卫星数据监测非法捕鱼[12]、人口贩运[13]、石油泄漏[14]、塑料垃圾[15]、新冠疫情应对[16]和死亡情况[17]等。

政府也将是重要的客户。例如，Caceres表示：“美国军方越来越依赖商业卫星图像，因为在许多方面，这些图像与军方所提供的一样好或更好，而且价格要便宜得多。”

目前，商用光学图像的最佳空间分辨率为25 cm，每个像素的面积为25 cm × 25 cm（约为笔记本电脑大小）[18]；多家公司可以提供1~5 m分辨率（视为中高分辨率）的成像。美国航空航天局（NASA）和欧洲航天局等多个政府机构可免费提供分辨率为10 m、15 m、30 m和250 m的光学数据[4]。

空客公司的Pléiades Neo是提供极高分辨率光学成像的最先进星座之一。在独立资助该星座后，空客公司完全控制了该卫星星座的硬件和传感器制造。同时，空客公司还运营了地面站，这些地面站主要负责下载数据，对数据进行后处理，并通过其在线门户OneAtlas（图2）向客户交付数据[19]。2022年11月送入轨道的两颗Pléiades Neo卫星配备了基于激光的通信系统，可通过欧洲数据中继卫星（EDRS）星座支持的“空间数据高速公路”在30~40 min内发送所需数据[1]。像Pléiades Neo这样的低地球轨道卫星通常会收集数据，然后保存数据，并在经过视距地面站之时将数据发送到地面站。这种方式阻碍了数据的

持续收集。坐落在更高轨道上的EDRS星座则使用了高带宽激光器与低地球轨道卫星通信，然后以1.8 Gbit·s<sup>-1</sup>的速度将数据传输到地面站的广域网[20]。

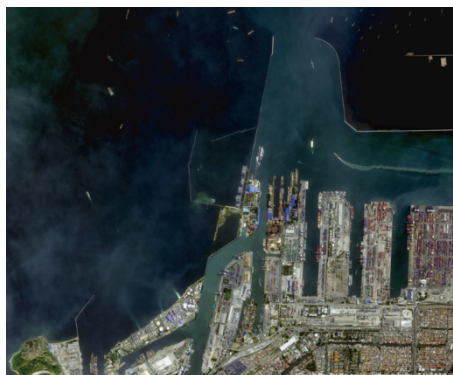


图2. 这张由Pléiades Neo星座拍摄的印度尼西亚雅加达港口图片是空客公司OneAtlas商业在线平台上所提供的数千张图片之一。来源：空客公司（公共领域）。

除了光学相机，Pléiades Neo卫星还配备了六个额外的光谱通道，用以扩展卫星的遥感能力。例如，优化了“红色边缘”来表征植被中的叶绿素，支持精准农业，而“深蓝色”则允许更深入地穿透水体，以便更清晰地了解航道情况。此外，空客公司计划将多颗编队飞行的Pléiades Neo卫星的数据拼接起来，以前所未有的50 cm的网格间距创建三维（3D）数字高程模型[19]。

一些较小的公司也参与了卫星图像的淘金热，例如总部位于美国加利福尼亚州旧金山的Planet公司。该公司由三位前NASA工程师于2010年共同创立，运营着世界上最大的地球成像卫星群。在该公司的240多颗卫星中，大部分是名为“鸽子”的小型卫星，每颗卫星仅重10多磅，它们成群飞行，可以获取3~5 m分辨率的图像（图3）。据Weeden表示：“虽然这些卫星的能力远不及真正的大卫星，但它们更便宜、更容易制造。人们不但可以更快地迭代和更新它们，还可发射更多的此类卫星。现在它们被用来对地球上几乎所有的地貌进行成像，每天至少一次。”

在过去五年中，Planet收购了几家卫星公司，其中之

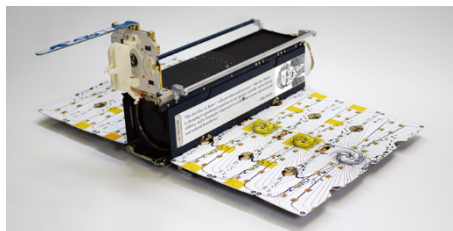


图3. Planet公司的鸽子卫星，在太阳能电池板展开前的尺寸为10 cm × 10 cm × 30 cm，可以3~5 m的地面分辨率拍摄图像。在特定区域检测到变化之后，可通过Planet公司一颗50 cm分辨率的SkySat卫星对该区域进行放大聚焦。来源：Planet Labs（公共领域）。

一是 Terra Bella 公司[21]。该公司拥有一个由 21 颗 SkySat 卫星组成的卫星星座，该星座每天可获取 50 cm 分辨率的图像多达 12 次[22]。Planet 公司的产品结合了低分辨率和高分辨率图像，其 700 多家客户能够在同一个平台上检测地球上任何地方的变化并对特定区域进行放大聚焦。

地球观测卫星还可以使用“主动式”传感器捕捉可见光光谱以外的数据，这些传感器可自行提供照明能源。与只能在白天获取光学卫星图像相比，包括光探测和测距雷达（LiDAR）和合成孔径雷达（SAR）在内的主动式传感器，无论昼夜都可以获取测量结果。

LiDAR 使用激光雷达将光脉冲传送到地球的表面，然后通过记录发射脉冲和反向散射脉冲之间的时间来确定与下方物体的距离。LiDAR 特别适合在密集的野外捕捉数据，例如可以用于绘制森林树冠和底层地形的地图。

SAR 仪器向地球发射电磁脉冲，脉冲被地表特征反射回来，随后对返回脉冲的强度和到达天线的时间进行处理，并将这些数据变成图像。SAR 所使用的电磁脉冲频率不会被大气中的云、雾、烟和雨等吸收，因此能够在所有天气条件下正常工作。

SAR 图像自 20 世纪 70 年代以来就已被军方广泛使用，只是在过去的五年里才开始商业化。如今，像空客公司和洛克希德·马丁公司这样的公司提供了一系列 50 cm 地面分辨率的 SAR 图像，可用于评估混凝土和沥青等表面材料的属性、土壤的水分含量和冰川退化情况等。Capella 公司（美国加利福尼亚州旧金山）最近宣布计划于 2023 年发射首批行业领先的 21 cm 分辨率 SAR 卫星 Acadia [23]。用户还可以通过欧洲航天局哨兵 1 号任务的两颗 SAR 卫星免费获取 5 m 地面分辨率的 SAR 数据[4]。

Weeden 表示：“仅基于物理学的局限性而言，我认为其在光学图像分辨率方面没有太大的提高。但在商业领域，雷达和高光谱成像尚处于起步阶段。我预计这将是极具创新性的领域。”

各公司不必设计、建造或发射卫星也可以进入不断增长的遥感市场。在过去的十年中，一个由数百家提供特定市场服务的聚合商和经销商组成的作坊式产业已然兴起。这些公司与多家供应商谈判合同，以更便宜的价格向客户提供数据集访问。

为支持涌入市场的大量地球观测数据，其他行业也如雨后春笋般涌现。例如，亚马逊和微软都宣布计划在世界各地建立大型地面站网络，希望通过托管每天传送到地球上的数万亿字节的卫星数据，来提高其云服务的净利润[24]。此外，一些公司现在专门开发软件，将来自不同成像模式的数据混合起来，绘制特定区域的多层视图。其他

公司则专注于创建复杂的、人工智能驱动的分析软件包。这些软件包可以搜索卫星图像数据库，快速找到人类无法识别的模式[11,15,25–27]。

英国南安普敦大学空间人口统计学和流行病学教授 Andrew Tatem 表示：“对我们来说，有用的不仅仅是图像，而是从这些算法中衍生出来的用途。例如，我们可以通过这些图像识别建筑位置、建筑高度、社区类型以及土地用途。” Tatem 就使用了有关建筑物的数据来估算人口普查不可靠地区的人口情况。“Planet 和其他公司已经意识到他们不仅可以提供图像，还可以从这些图像中提取自定义数据。”

Weeden 表示，即使人们在没有算法帮助的情况下很难理解正在生成的许多遥感数据，但毫无疑问，人们对卫星图像的需求会越来越大。“这就像全球定位系统一样。” Weeden 说，“美国军方在 50 年前开始研究这项技术之时，并不知道有一天人们还可通过在宠物项圈上放一个小追踪芯片来跟踪他们的宠物。同样，商业卫星图像和其他类型的遥感技术的日益普及也使非政府组织能够做他们从未想过的事情。”

## References

- [1] Airbus' final two dispenser-free Pleiades Neo constellation satellites ready for launch [Internet]. Sonoma: Satnews; 2022 May 19 [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://news.satnews.com/2022/05/19/airbus-final-twodispenser-free-pleiades-neo-constellation-satellites-ready-for-launch/>.
- [2] Commercial satellite imaging market to surpass US \$ 12.4 billion by 2032 [Internet]. Newark: Future Market Insights; 2022 May 4 [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2022/05/04/2435903/0/en/Commercial-Satellite-Imaging-Market-to-Surpass-US-12-4-Billion-by-2032-Future-Market-Insights.html>.
- [3] Palmer C. Russian anti-satellite test spotlights space debris danger. *Engineering* 2022;12:3–5.
- [4] Jagula D. Satellite imagery for everyone [Internet]. New York City: IEEE Spectrum; 2022 Feb 19 [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/commercial-satellite-imagery>.
- [5] Schneider D. US eases restrictions on private remote-sensing satellites [Internet]. New York City: IEEE Spectrum; 2020 Jul 1 [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/eased-restrictions-on-commercialremote-sensing-satellites>.
- [6] Shelly J. Satellites are going mainstream; here's how insurance can reap the benefits [Internet]. Blue Bell: Risk & Insurance 2019. Feb 10 [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://riskandinsurance.com/satellites-and-insurance/>.
- [7] Partnoy F. Stock picks from space [Internet]. Washington, DC: The Atlantic; 2019 May 1 [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://www.theatlantic.com/magazine/archive/2019/05/stock-value-satellite-images-investing/586009/>.
- [8] Tucker A. Space archaeologist Sarah Parcak uses satellites to uncover ancient Egyptian ruins [Internet]. Washington, DC: Smithsonian Magazine; 2016 Dec 1 [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://www.smithsonianmag.com/innovation/space-archaeologist-sarah-parcak-winner-smithsonians-historyingenuity-award-180961120/>.
- [9] Lang F. Scientists use satellite imagery to count elephants [Internet]. New York City: Interesting Engineering; 2021 Jan 20 [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://interestingengineering.com/science/scientists-use-satellite-imagery-to-count-elephants>.
- [10] O'Neill S. Climate change action alights on satellite detection of methane. *Engineering* 2022;16:9–12.



- [11] Jean N, Burke M, Xie M, Davis WM, Lobell DB, Ermon S. Combining satellite imagery and machine learning to predict poverty. *Science* 2016;353(6301): 790–4.
- [12] Wall M. Satellites uncover widespread illegal fishing in Pacific Ocean [Internet]. New York City: Space; 2020 Jul 22 [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://www.space.com/illegal-fishing-squid-satellite-imagery.html>.
- [13] Yazici T. A proposal for the usage of reconnaissance satellites to monitor international human and wildlife trafficking hotspots. *Acta Astronaut* 2022;195: 77–85.
- [14] Derouin S. Leveraging satellite sensors for oil spill detection [Internet]. Washington, DC: Eos; 2020 Mar 26 [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://eos.org/articles/leveraging-satellite-sensors-for-oil-spill-detection>.
- [15] O’Neill S. Satellite tracking and global treaty effort open new front on plastic waste problem. *Engineering* 2022;17:3–6.
- [16] Perry TS. Satellites and AI monitor Chinese economy’s reaction to coronavirus [Internet]. New York City: IEEE Spectrum; 2020 Mar 10 [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/satellites-and-ai-monitor-chinese-economy-reaction-to-coronavirus>.
- [17] Cunningham E, Bennett D. Coronavirus burial pits so vast they’re visible from space [Internet]. Washington, DC: Washington Post; 2020 Mar 12 [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://www.washingtonpost.com/graphics/2020/world/iran-coronavirus-outbreak-graves/>.
- [18] Kraetzig NM. A definitive guide to buying and using satellite imagery [Internet]. Berlin: Up42; 2021 Jan 15 [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://up42.com/blog/tech/a-definitive-guide-to-buying-and-using-satelliteimagery>.
- [19] Buczkowski A. Pléiades Neo is raising the bar for the remote sensing and imaging industry [Internet]. Warsaw: Geo Awesome; 2022 Feb 6 [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://geoawesomeness.com/eo-hub/pleiades-neois-raising-the-bar-for-the-remote-sensing-and-imaging-industry/>.
- [20] Calzolaio D, Curreli F, Duncan J, Moorhouse A, Perez G, Voegt S. EDRS-C—the second node of the European Data Relay System is in orbit. *Acta Astronaut* 2020;177:537–44.
- [21] Werner D. Planet to acquire VanderSat in \$28 million deal [Internet]. Alexandria: Space News; 2021 Nov 10 [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://spacenews.com/planet-to-acquire-vandersat/>.
- [22] SkySat instruments: explore instruments used in SkySat mission [Internet]. Brussels: European Space Agency; [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/skysat>.
- [23] Capella Space’s next generation satellites with enhanced imagery capabilities [Internet]. Sonoma: Satnews; 2022 Aug 10 [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://news.satnews.com/2022/08/10/capella-spaces-next-generation-satellites-with-enhanced-imagery-capabilities/>.
- [24] Sheetz M. Microsoft wants to take on Amazon in connecting satellites to the cloud [Internet]. Englewood Cliffs: CNBC; 2020 Sep 11 [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://www.cnbc.com/2020/09/11/microsoft-azure-versusamazon-aws-in-connecting-satellites-to-cloud.html>.
- [25] Rolf E, Proctor J, Carleton T, Bollinger I, Shankar V, Ishihara M, et al. A generalizable and accessible approach to machine learning with global satellite imagery. *Nat Commun* 2021;12:4392.
- [26] Singh I. The perfect storm called artificial intelligence and geospatial big data [Internet]. Warsaw: Geo Awesome; 2017 Nov 14 [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://geoawesomeness.com/the-perfect-storm-called-artificial-intelligence-and-geospatial-big-data/>.
- [27] Kumar M. Meet IMGeospatial: the startup that uses AI and remote sensing to extract actionable intelligence for businesses [Internet]. Warsaw: Geo Awesome; 2019 Jun 20 [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://geoawesomeness.com/imgeospatial-startup-ai-remote-sensing-business-intelligence/>.