



## News &amp; Highlights

## 冷战时期的卫星图像获得新的生机

Mitch Leslie

Senior Technology Writer

1967年9月16日，苏联西北部天气晴朗，为高空掠过的美国侦察卫星提供了绝佳的摄影条件。作为名为“日冕”（Corona）的最高机密计划的一部分，“日冕”卫星拍摄了一段胶片并继续沿轨道运行。这些图像是否在冷战时期为美国提供了重要的情报，我们不得而知，但50多年后，事实证明它们对威斯康星大学麦迪逊分校森林和野生动物生态学教授Volker Radeloff而言至关重要，Volker Radeloff教授利用这些图像研究了土地利用方式随时间的变化规律。

卫星曾拍摄的区域现在横跨俄罗斯与拉脱维亚共和国之间的边界，Radeloff及其同事想了解为何该区域的森林一直在扩张。研究人员曾认为，树木在1991年苏联解体后开始重新生长。但正如Radeloff及其同事在2020年所披露的情况[1]，在20世纪60年代该区域进行了重新造林。科学家可使用20世纪80年代以来的其他卫星图像，但是“日冕”卫星拍摄的图像可使他们更深入地了解过去。Radeloff表示：“能够再追溯20年是很重要的事情。”

1960—1972年，100多颗“日冕”卫星围绕地球运行，拍摄了超过860 000张高分辨率图像，这些图像大部分为地表图像[2,3]。自1995年第一批图像被解密后不久，研究人员开始分析这些图像。他们采用这些图像分析了中东地区的考古遗址（数量增加了三倍）[4]，记录了中亚冰川萎缩情况[5]，跟踪哈萨克斯坦共和国草原上啮齿动物种群减少情况[6]，以及开展许多其他研究

工作。美国哈佛大学考古学和人种学教授Jason Ur表示，这些图像对于他的研究领域而言“极其重要”，特别是在中东地区，那里是“大规模考古项目的起点”。但此类研究可能仅仅是开始。Radeloff表示：“校正图像失真的软件会使更多的科学家能够对其进行分析。在未来5~10年，我们将看到这些图像的使用频率会激增。”

“日冕”卫星曾需要攻克数项技术挑战。为实现这些技术突破，使其成为首个基于太空的地球观测系统，美国国家工程院于2005年授予“日冕”计划德拉普尔奖。1958年2月，美国总统德怀特·艾森豪威尔授权批准了该计划[7]，时间恰逢苏联发射首颗环地球轨道人造卫星“斯普特尼克1号”（Sputnik 1）后的四个月[8]。但从事“日冕”图像研究20余年的美国新罕布什尔州汉诺威达特茅斯大学的人类学教授Jesse Casana表示，“斯普特尼克1号”是一块金属。它没有携带相机或仪器，也不能自行推进[9]。尽管像“斯普特尼克1号”一样，“日冕”卫星通过火箭发射，但是仍希望它们能自动进入其最终轨道[10]。一旦到达最终轨道，它们就必须保持其所有三个轴的稳定性——这是航天器尚未实现的壮举[3]——以便机载相机可捕获苏联导弹发射场以及其他军事要塞的详细图像。然后，它们必须将这些图像返回地球以进行分析。最重要的是，该计划的工程师只有为期两年的时间让该系统正常运作[10]。

这些挑战的困难程度通过前12次任务的失败而显现——远超当时的典型任务数量[10]。但第十三次飞行

任务成功实施，第十四次任务于1960年8月发射“日冕”卫星，并首次拍到苏联[10]。美国阿肯色大学费耶特维尔分校地理学教授Jackson Cothren表示：“在20世纪60年代，能够在轨道上建立自主运行的绘图系统是一项了不起的工程。”

“日冕”计划团队进行的许多创新成为后来的航天器的标准配置。例如，卫星首次配备了在三个轴上记录偏差的陀螺仪。陀螺仪以及可识别地平线的一对红外传感器，让相机对准地面并确保其在拍摄过程中的稳定性[11]。如果其中一颗卫星检测到其发生倾斜或滚动，那么它可以通过发射氮气流来纠正其姿态[11]。如今，类似的三轴系统可让哈勃太空望远镜聚焦遥远星云以及其他摄影对象，而且它仍是确保航天器稳定性的两个主要策略之一[12,13]。

在计划实施过程中，“日冕”卫星必不可少的摄像系统得到了显著改善。相机使用了定制的70 mm胶片，该胶片结合了广域覆盖和高分辨率特点[14]。不过，最早的图像呈现出颗粒感（图1），分辨率通常为8~12 m

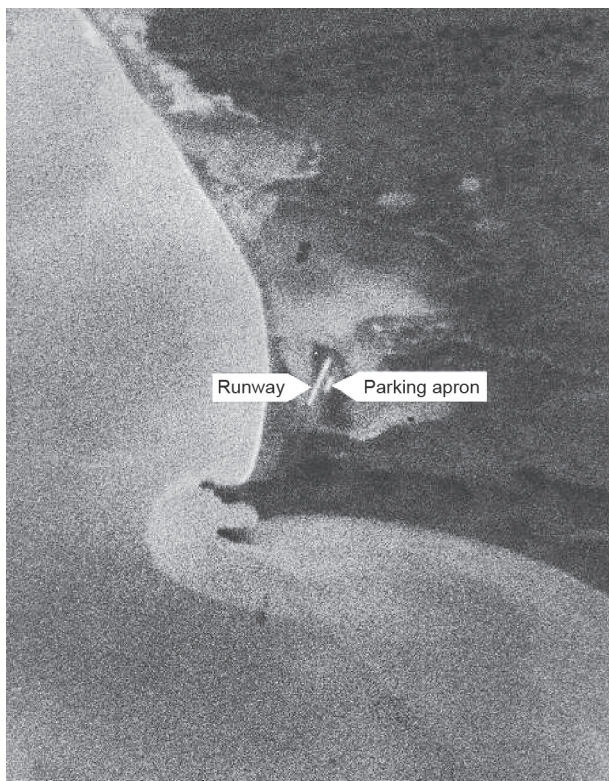


图1. 1960年首次成功开展的“日冕”计划所拍摄的图像，显示了西伯利亚东北部地区的苏联飞机起落跑道。图像分辨率远低于后来开展的任务所拍摄的图像，后续任务采用了优良的镜头，可以更好地控制拍摄稳定性。图片来源：US National Reconnaissance Office (Wikimedia, public domain)。

[15,16]。随着“日冕”计划团队完善卫星姿态控制能力以及采用配备更好镜头的相机，后来的任务可使图像分辨率小于2 m [3,16,17]。

一些卫星可拍摄近5 km长的胶片[14]，但无论图像显示了多少细节，除非情报分析师可对其进行检查，否则它们均无用。然而Casana表示：“当时尚无任何机械装置将这种分辨率的信息传递回地球。”该项目的工程师提出了一个大胆的解决方案。一旦卫星拍摄了图像，它就旋转并朝地球倾斜，同时抛出一个装有胶片的太空舱[10]。在制动火箭和降落伞的减速作用下[18]，该胶片从太平洋上空飘落下来，直至到达离地面约4500 m的位置。然后，一架拖曳着一系列杆子、线缆和挂钩的美国空军飞机会进行机动操作，直至其飞往太空舱上方并可能抓住降落伞（图2）[14]。尽管这种所谓的“桶抓”方式会失败，但它在大多数情况下都是有效果的，并使该计划取得多个第一。例如，第十三次日冕任务的回收舱是首个从太空返回的人造物体[10]。

到20世纪70年代初，“日冕”卫星的情报收集功能已荡然无存。Cothren表示，但是20多年后，当研究人员开始使用卫星拍摄的将近650 km长的胶片时，他们很快就意识到这些图像是科学金矿，原因是它们具有高品质的“独特组合”。Ur指出，中东地区的许多考古遗址被水库淹没（图3），遗址上建立起扩张的城市，农业机械化的发展加剧人们对遗址的开垦，或其他原因导致这些遗址被摧毁。“日冕”图像让研究人员得以重现那些消失的遗址。Ur表示：“它们就像一台时光机。”



图2. 1960年8月，美国空军飞机试图用“桶抓”方式取回“日冕”卫星释放的装有胶片的太空舱。太空舱悬挂在飞机打算进行捕获的降落伞下方。图片来源：US Air Force (Wikimedia, public domain)。



图3. 1969年8月1日，“日冕”卫星拍摄的土耳其东南部萨姆萨特古城的一张图像。3000多年来，萨姆萨特一直是一个重要的城市中心，但自1990年阿塔图尔克大坝建成后，萨姆萨特就被完全淹没于水中。图片来源：CORONA Atlas Project, US Geological Survey (public domain)。

这些图像还具有其他优点。尽管当今的卫星图像具有更高分辨率，但是与其他广泛使用的历史图像[如许多“陆地”(Landsat)卫星拍摄的图像。首颗“陆地”卫星于1972年发射，所拍摄的图像分辨率为80 m]相比，“日冕”卫星拍摄的图像仍提供了更多细节[16,19]。Casana表示，我们也很容易获得这些图像。所有原始胶片仍存在，仅需支付30美元，研究人员就可从美国地质勘探局(US Geological Survey, USGS)获得特定位置的高分辨率扫描图[16]。此外，Casana指出：“‘日冕’卫星的拍摄范围可以覆盖整个大陆，这使其具有独一无二的强大能力。”

Ur表示，这些图像为自己的学术生涯奠定了基础。Ur是利用卫星这种强大能力的研究人员之一。他使用这些图像绘制了叙利亚北部和伊拉克北部6000多公里的道路，揭示了4000多年前该地区各部落间的出人意料的互动程度[20]。对于Casana而言，此类图像不可或缺。2014年，Casana使用此类图像对中东地区的考古遗址进行了普查。当时，研究人员已查明该地区有大约4500个考古遗址，但Casana及其同事通过分析“日冕”图像确定了另外10 000个考古遗址，包括废弃的城市[4]。

尽管具有如此久经考验的实用性，但因其失真，“日冕”图像仍难以被利用[21]。卫星通过全景相机拍摄了很长的胶片，结果图像看起来像被拉伸了一样，图像边缘的分辨率比中央区域的分辨率低[16]。山脉和其他地形以及卫星运动进一步扭曲了图像。Cothren表示：“要进行认真的大规模分析，你需要对图像进行校正。”最

近开发的软件使这项校正任务变得更容易。Radeloff和他的团队使用市售软件包来调整“日冕”图像以开展其2020年进行的研究。Casana和Cothren共同指导CORONA Atlas项目。该项目已对2000多张“日冕”图像进行了正射校正，并且提供了一个免费工具，可让研究人员自行完成这项工作[21]。Radeloff表示，仅扫描了大约5%的“日冕”图像，对其余图像进行分析很重要——这样可使研究人员“看到一个不同的世界”。

## References

- [1] Rendenieks Z, Nita MD, Nikodemus O, Radeloff VC. Half a century of forest cover change along the Latvian–Russian border captured by object-based image analysis of Corona and Landsat TM/OLI data. *Remote Sens Environ* 2020;249:112010.
- [2] Renaut M. It spied on Soviet atomic bombs. Now it's solving ecological mysteries [Internet]. New York: New York Times; 2021 Jan 5 [cited 2021 Mar 9]. Available from: <https://www.nytimes.com/2021/01/05/science/coronasatellites-environment.html>.
- [3] Foley T. Corona comes in from the cold [Internet]. Arlington: Air Force Magazine; 1995 Sep 1 [cited 2021 Mar 9]. Available from: <https://www.airforcemag.com/article/0995corona/>.
- [4] Vergano D. Cold War spy-satellite images unveil lost cities [Internet]. Washington, DC: National Geographic; 2014 Apr 26 [cited 2021 Mar 9]. Available from: <https://www.nationalgeographic.com/adventure/article/140425-corona-spy-satellite-archaeology-science>.
- [5] Goerlich F, Bolch T, Mukherjee K, Pieczonka T. Glacier mass loss during the 1960s and 1970s in the Ak-Shirak Range (Kyrgyzstan) from multiple stereoscopic Corona and Hexagon imagery. *Remote Sens* 2017;9(3):275.
- [6] Livingston S. Cold War satellites inadvertently tracked species declines [Internet]. Washington, DC: Science; 2020 May 19 [cited 2021 Mar 3]. Available from: <https://www.sciencemag.org/news/2020/05/cold-war-satellites-inadvertently-tracked-species-declines>.
- [7] Historical image declassification fact sheet [Internet]. Chantilly: National Reconnaissance Office; [cited 2021 Mar 9]. Available from: <https://www.nro.gov/History-and-Studies/Center-for-the-Study-of-National-Reconnaissance/The-CORONA-Program/Fact-Sheet/>.
- [8] Wall M. Sputnik 1! 7 fun facts about humanity's first satellite [Internet]. New York: Space; 2020 Oct 4 [cited 2021 Mar 9]. Available from: <https://www.space.com/38331-sputnik-satellite-fun-facts.html>.
- [9] Zak A. How Sputnik worked [Internet]. New York: Popular Mechanics; 2017 Oct 4 [cited 2021 Mar 9]. Available from: <https://www.popularmechanics.com/space/satellites/news/a28496/how-sputnik-worked/>.
- [10] Clausen I. Reflections on Corona's tough challenges. In: Clausen I, Miller EA, editors. *Intelligence Revolution 1960: Retrieving the Intelligence Imagery that Helped Win the Cold War*. Chantilly: National Reconnaissance Office; 2012.
- [11] Minoru SA. The agena booster platform challenges. In: Clausen I, Miller EA, editors. *Intelligence revolution 1960: retrieving the intelligence imagery that helped win the cold war*. Chantilly: National Reconnaissance Office; 2012.
- [12] Smith KN. The quest to make space telescopes smaller [Internet]. New York: Forbes; 2020 Jun 3 [cited 2021 Mar 9]. Available from: <https://www.forbes.com/sites/kionasmith/2020/06/03/the-quest-to-make-space-telescopes-smaller/?sh=7fc1020e2278>.
- [13] Basics of space flight: attitude and articulation control subsystems (AACS) [Internet]. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration; [cited 2021 Mar 9]. Available from: <https://solarsystem.nasa.gov/basics/chapter11-2/>.
- [14] Oberhaus D. The first spy satellites had to drop gigantic buckets of film back to Earth [Internet]. New York: Vice; 2017 Apr 22 [cited 2021 Mar 9]. Available from: <https://www.vice.com/en/article/jpzpkg/the-first-spy-satellites-had-to-drop-gigantic-buckets-of-film-back-to-earth>.
- [15] Declassified intelligence satellite photographs fact sheet 2008–3054. Washington, DC: US Geological Survey; 2008 Jul.
- [16] Casana J, Cothren J, Kalayci T. Swords into ploughshares: archaeological applications of CORONA satellite imagery in the Middle East. *Internet Archaeol* 2012;32.
- [17] Wheelon AD. Corona: the first reconnaissance satellites. *Phys Today* 1997;50(2):24.
- [18] Dienemann M, Christopher G. First man-made object to eject, stabilize, and propel itself to de-orbit a payload. In: Clausen I, Miller EA, editors.

Intelligence revolution 1960: retrieving the intelligence imagery that helped win the Cold War. Chantilly: National Reconnaissance Office; 2012.

[19] Landsat 1 [Internet]. Washington, DC: United States Geological Survey; [cited 2021 Mar 9]. Available from: <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-1>.

[20] Noble WJ. satellites uncover ancient mideast road networks [Internet]. New

York: New York Times; 2003 Jan 28 [cited 2021 Mar 9]. Available from: <https://www.nytimes.com/2003/01/28/science/satellites-uncover-ancient-mideast-road-networks.html>.

[21] Casana J. Global-scale archaeological prospection using CORONA satellite imagery: automated, crowd-sourced, and expert-led approaches. *J Field Archaeol* 2020;45(Suppl 1):S89-100.