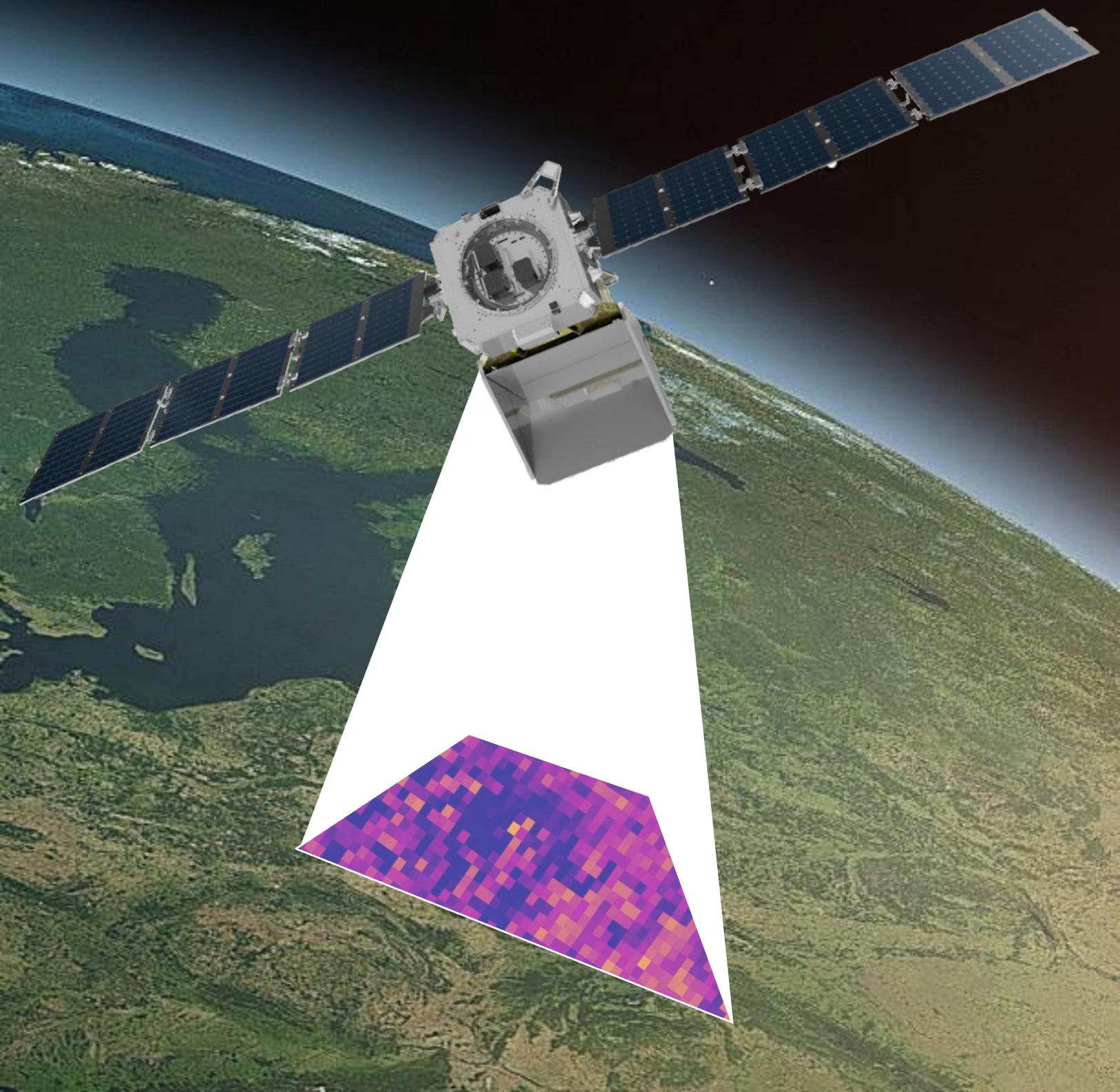
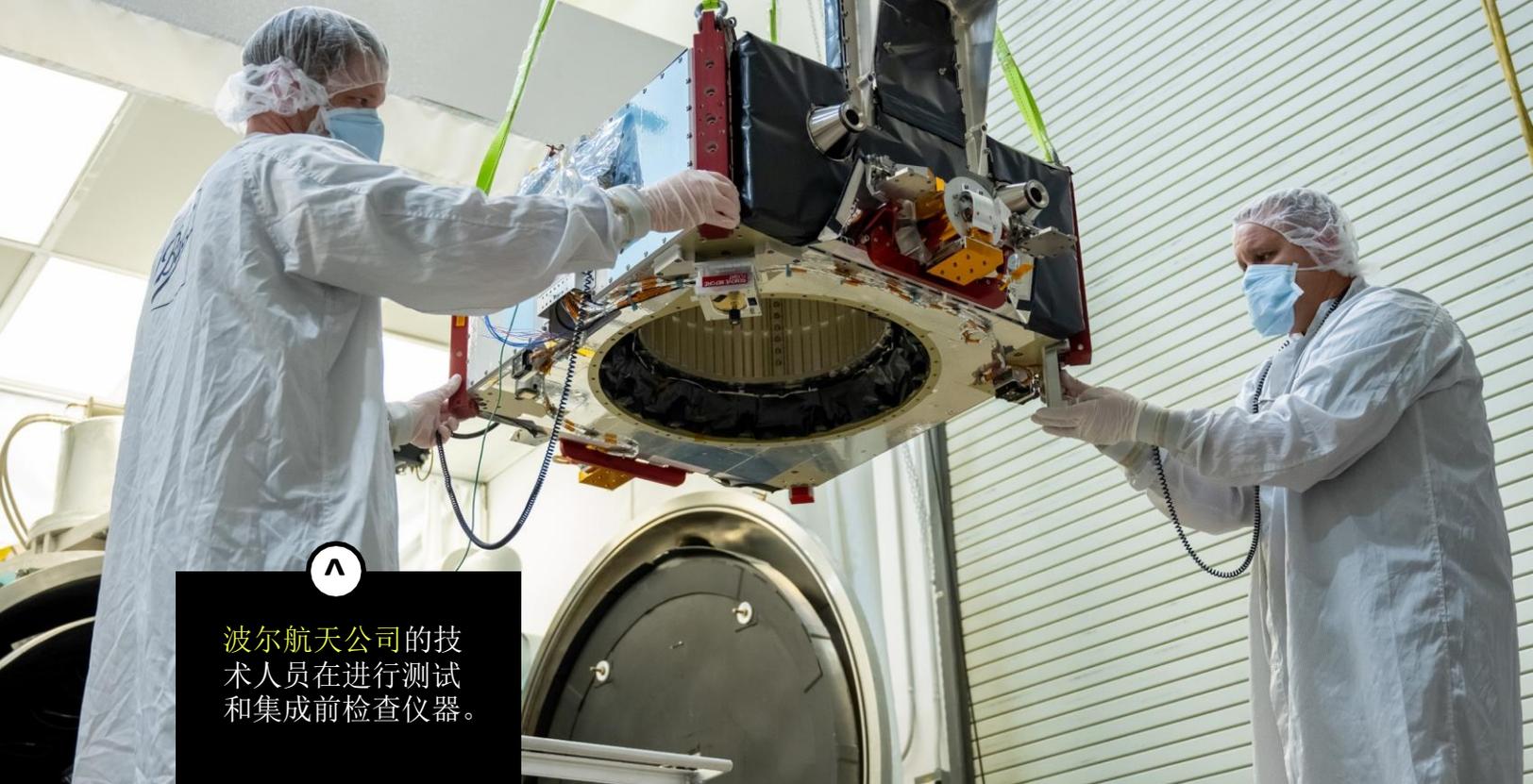


MethaneSAT™

甲烷测量透明化新时代





波尔航天公司的技术人员在进行测试和集成前检查仪器。

图片来源：波尔航天公司

作者

Fiona Liao
Steve Hamburg
Ritesh Gautam

贡献者

Andrew Baxter
Joshua Benmergui
Susan Kasper
Alba Lorente
Tom Melendez
Mark Omara

合作伙伴

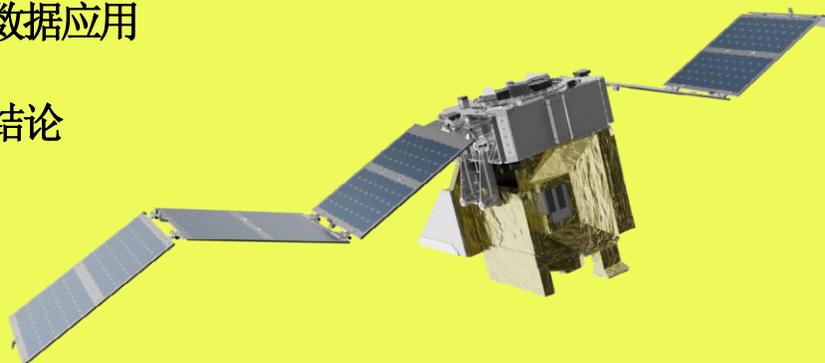
波尔航天公司
蓝峡谷科技公司
哈佛大学
史密松天体物理台
新西兰商业、创新和就业部

设计与数据可视化

Kelsey Robinson

目录

- 3 执行摘要
- 4 数据总览
- 7 卫星生态系统
- 9 示例示意图
- 10 性能
- 14 数据生成过程
- 15 数据应用
- 18 结论



目前，全球业界和政府正采取措施，减少导致气候变暖的甲烷排放。

油气的买家和卖家、行业监管机构、金融界和公众对可利用且可靠的甲烷排放数据的需求正日益增长。甲烷排放占当前全球变暖效应的30%，全球性的甲烷减排竞赛体现了应对这一问题的紧迫性。减少油气行业的甲烷排放量是目前减缓未来几十年气候变暖最快、最有效的手段。

开展甲烷减排急需高分辨率数据，以量化油气行业的甲烷排放，并实现快速检维修。化石燃料的生产和使用是人为甲烷排放的最大来源之一，油气价值链每年至少排放8000万公吨甲烷。甲烷排放量传统上采用通用数据进行估算，而这些数据往往低估了总排放量，同时对单个排放源或运营变化绩效的评估效果有限。因此，官方清单普遍少报和低估了甲烷排放量，不过，卫星等新兴技术解决方案可以弥补这些数据差距。

MethaneSAT是美国环保协会（EDF）全资子公司的卫星项目。该卫星将在全球范围内测量油气行业的甲烷污染，并将数据以直观易懂的形式免费公开。目前，MethaneSAT正处于最后的测试阶段，将于2023年底完成发射准备。一旦进入轨道，

该卫星将对占全球油气产量80%以上地区的甲烷排放进行定期监测，量化甲烷排放率，并确定排放来源及其随时间推移而产生的排放变化。

MethaneSAT上的两台光谱仪将利用反射的太阳光收集大气中甲烷浓度变化的数据。

一个云数据平台将利用这些数据，在考虑各种风况和大气环境的情况下计算甲烷排放率。这些数据将用于绘制高分辨率的油气田和盆地的甲烷排放热图，并确定高排放点源。由于MethaneSAT能够了解甲烷的逸出量、逸出速度以及逸出地点，并准确地监测甲烷排放率随时间的变化，它将成为一种功能强大的新工具，可比以往更精确、更详细地绘制全球甲烷排放图。

MethaneSAT旨在通过前所未有的数据透明度来加速实际甲烷减排。利用这些数据，世界各地的运营商将能更快地发现和解决问题，而利益相关方将能够评估运营商在履行甲烷目标、承诺和法律义务方面的绩效。

甲烷排放数据概述

目前可用的甲烷排放数据在质量、覆盖面和透明度方面存在不足。

早在数十年前，科学家们就已经发现了甲烷是一种强势的温室气体污染物，而化石燃料作业是甲烷排放的一个主要来源。但就在前不久，确定甲烷排放源和排放量还是个未解之谜。

从2012年开始，美国环保协会（EDF）组织了一系列的独立研究，发表了50篇由150多名学术和行业专家参与的同行评议科学论文，以评估美国油气供应链各阶段的甲烷排放。2018年发表在《科学》杂志上的论文对以上各研

究的数据进行了综合分析。该论文发现美国油气行业在2015年至少排放了1300万公吨的甲烷——超出当时政府估算值近60%。后续的分析表明，该行业在全球范围内都面临着类似的问题。

最近，甲烷排放的现场监测和测量成为油气公司的一项首要任务，这在一定程度上要归功于美国环保协会及其数百名合作者的研究。



简而言之，业界之前缺乏测量或减少甲烷排放的积极性。

这是由于缺乏监管、投资者、市场和社会压力造成的。各个企业和国家通常使用工程计算和通用排放因子来量化甲烷排放，而不是采取直接测量法。根据国际能源署（IEA），这种方法基于经营活动数据（如设备数量）乘以排放因子（如某一类型设备的估计泄漏率）来计算甲烷排放量。

然而，这种方法存在很高的不确定性，未能考虑到排放的可变性、非典型排放、事故或操作变化等因素。因此，该方法无法有效跟踪甲烷排放随时间推移而发生的变化。

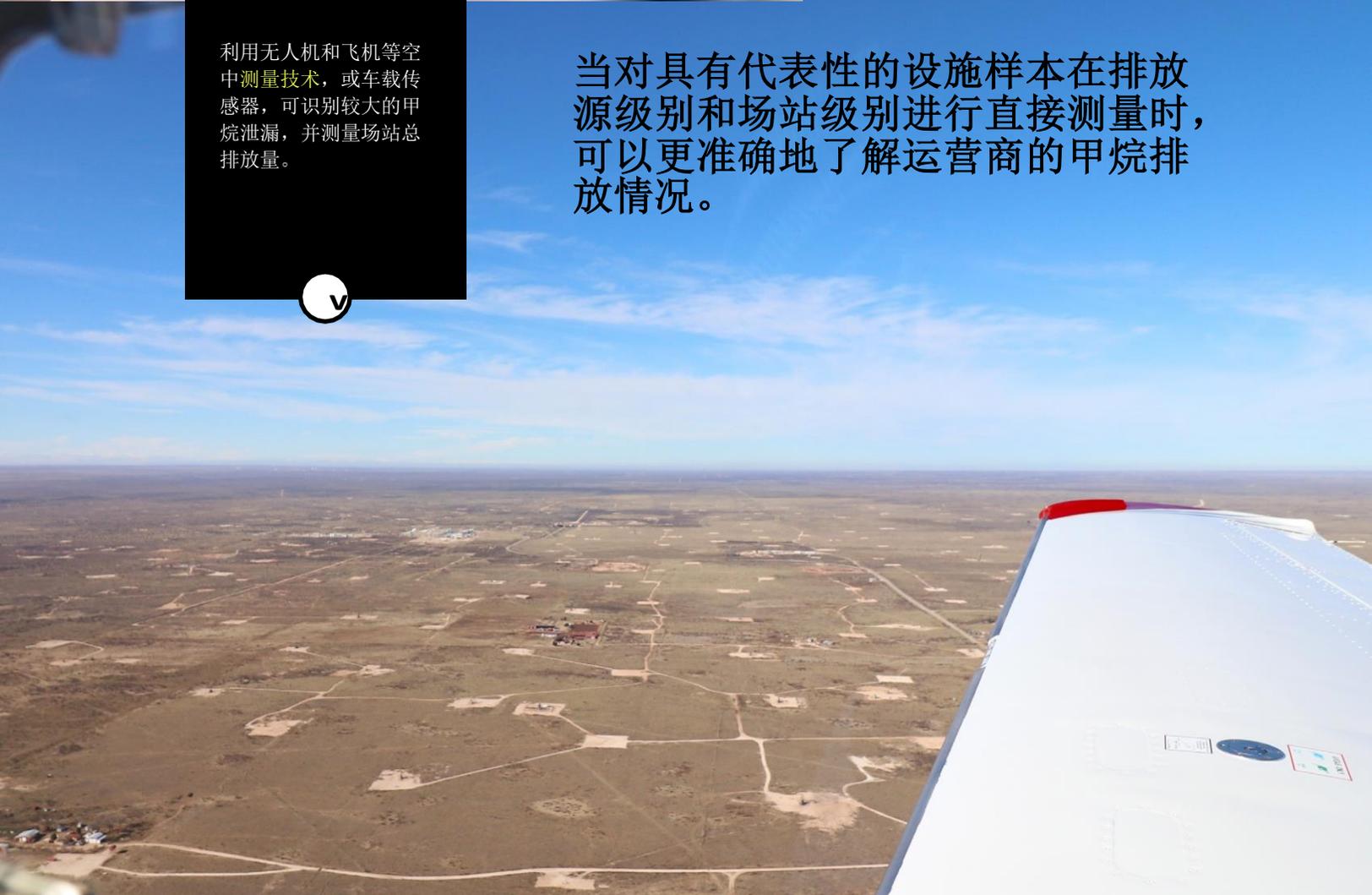


最近，一些运营商已经开始使用直接测量方法，如地面和空中技术来确定甲烷排放量。

利用红外摄像机手持设备，维修人员可发现设备或排放源级别的甲烷泄漏情况。

利用无人机和飞机等空中测量技术，或车载传感器，可识别较大的甲烷泄漏，并测量场站总排放量。

当对具有代表性的设施样本在排放源级别和场站级别进行直接测量时，可以更准确地了解运营商的甲烷排放情况。





得益于气候倡导者和科学家们的努力，人们越来越多地认识到甲烷的影响和减排的成本有效性。

一旦排放源层级的排放和场站层级的排放可以依据经验数据协调一致，运营商就可以实现数据的高度完整性。

由联合国环境规划署（UNEP）管理的“油气甲烷伙伴关系2.0”（OGMP）为油气公司测量和报告甲烷排放提供了一个报告框架，要求运营商开展数据协调。然而，该伙伴关系目前成员企业的油气产量仅占全球油气产量的30%。

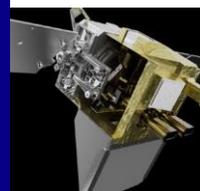
对于那些未加入的运营商，不同公司使用的甲烷测量方法之间可能存在巨大的差异。在全球范围内，可用的测量技术以及从事测量和数据处理的技术人员差异巨大。此外，缺乏透明和标准化的甲烷测量方法对全球油气企业进行比较。

越来越多的公司开始关注甲烷，

制定了甲烷减排目标，并签署加入OGMP。同样，越来越多的监管机构正在制定和加强有关油气甲烷排放的立法和条例。150多个国家已签署《全球甲烷承诺》，旨在到2030年将全球甲烷排放量在2020年的基础上减少至少30%。然而，要实现该目标，仍有许多工作有待完成。

但是，如果没有更好的技术来确定甲烷排放量、排放源、排放责任人以及排放随时间推移的变化状况，利益相关方将难以在实现目标方面取得和跟踪进展，其他人也很难监督和要求企业和政府履行承诺。

用于检测和验证甲烷排放的方法



航天方法

利用卫星从独特的有利位置监测全球的甲烷排放。



航空方法

利用无人机或飞机识别较大的甲烷泄漏，并测量设施的总排放量。



地面方法

利用手持设备来识别和测量设备级的甲烷泄漏。

甲烷测量卫星生态系统

新兴的卫星生态系统将提高全球甲烷排放的透明度并改善问责制。

卫星不仅可以探测到高排放点源，还可以监测区域——[从一平方公里到次盆地、地区和国家层面](#)的排放情况。这些数据可用于确定甲烷排放如何随时间推移而变化，以及用于各公司和国家之间的甲烷排放比较。

MethaneSAT发射后将成为观测全球大气甲烷排放的新兴卫星生态系统的一个关键组成部分。该生态系统中的每颗卫星都具有独特的性能设计，旨在相互补充和协同。有些卫星覆盖全球，但无法探测到占总排放中占比很大的诸多小型排放源的甲烷排放情况。还有一些卫星能够在设施级别上探测甲烷排放，但无法覆盖更大范围的区域。这些卫星相辅相成，能描绘出比以往更全面、更准确的甲烷排放图。

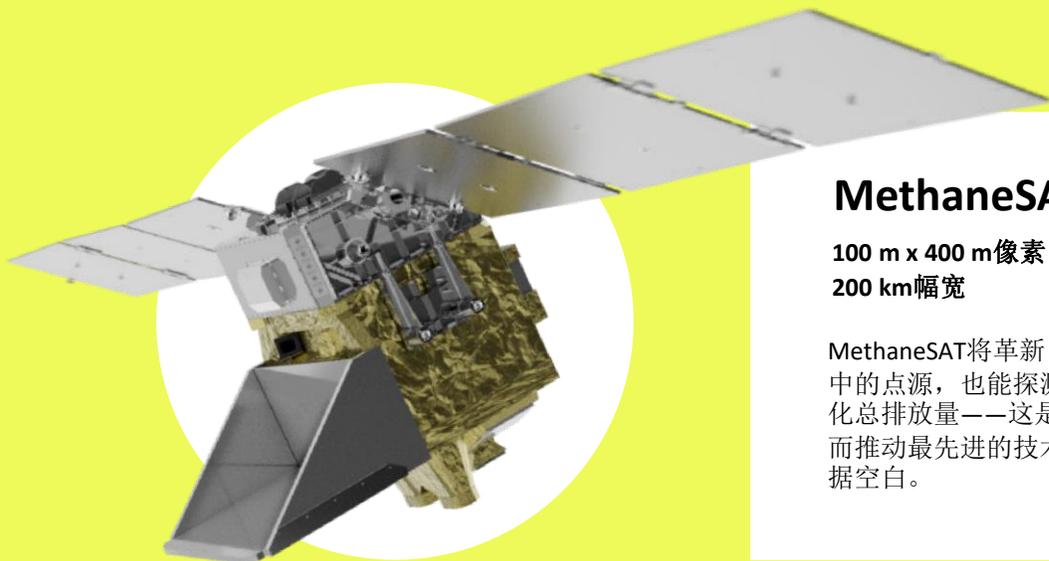
欧洲航天局于2017年发射的对流层监测仪（TROPOMI）是实现每天对全球一次覆盖的卫星示例。[TROPOMI](#)的视野宽度达2600公里，可以每天对目标进行监测，并能够检测各种污染物，如二氧化氮、甲烷和臭氧。然而，由于其空间分辨率有限，仅7km x 5.5km，因此除了那些高排放的孤立点源，TROPOMI无法溯源到具体场站。由于其甲烷浓度检测精度为14ppb及其相关检测阈值，TROPOMI很难表征排放量较低地区的排放，而该类地区很多，其排放需要得到关注。此外，虽然

TROPOMI定期提供甲烷浓度数据，但不提供甲烷排放数据。尽管大气科学家可以通过浓度数据量化排放，[这项工作相当复杂，可能需要耗时数周甚至数月](#)。

与此相对的是，有些卫星的地理覆盖范围非常有限，但可以检测单个设施的排放。例如，GHGSat商业公司发射的卫星能够测量工业设施的甲烷排放。目前，该公司有六颗在轨卫星，并[计划在2023年发射更多卫星](#)。GHGSat的技术无法量化区域层面或弥散性的排放，但可以量化高排放点源的排放。非营利性组织Carbon Mapper将要发射的点源卫星承诺对预先选定的甲烷排放源进行量化。

虽然有了这些工具，在了解甲烷总排放量的大小、弥散源和较小点源的排放占比、以及排放如何随时间推移而变化等方面，我们的认识仍然存在差距；并且可执行的、及时的和可获得的信息也很有限。MethaneSAT的设计旨在弥补这些差距。

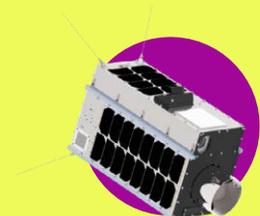
这些卫星群相辅相成，能描绘出比以往更全面、更准确的甲烷排放图



MethaneSAT

100 m x 400 m 像素
200 km 幅宽

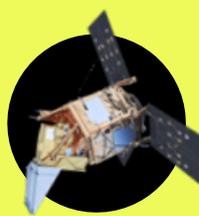
MethaneSAT将革新甲烷测量。它既能探测到集中的点源，也能探测到分散的区域源，进而量化总排放量——这是现有卫星无法实现的——从而推动最先进的技术发展，填补全球的主要数据空白。



GHGSat

30 m x 30 m 像素
10 km 幅宽

一个面向行业的商业点源卫星群。



TROPOMI

7,000 m x 5,500 m 像素
2,600 km 幅宽

欧洲航天局于2017年发射的Sentinel-5P卫星上搭载的全球测绘仪。



PRISMA

30 m x 30 m 像素
30 km 幅宽

由意大利航天局于2019年发射，结合了一个超光谱传感器和一个高分辨率相机。



Carbon Mapper

30 m x 30 m 像素
18 km 幅宽

由相关机构联盟与商业卫星供应商于2021年联合宣布将推出的一个点源卫星。

全球测绘

全球和大面积区域
大型点源

TROPOMI, SCIAMACHY,
GOSAT, GOSAT-2, CO2M

区域测绘

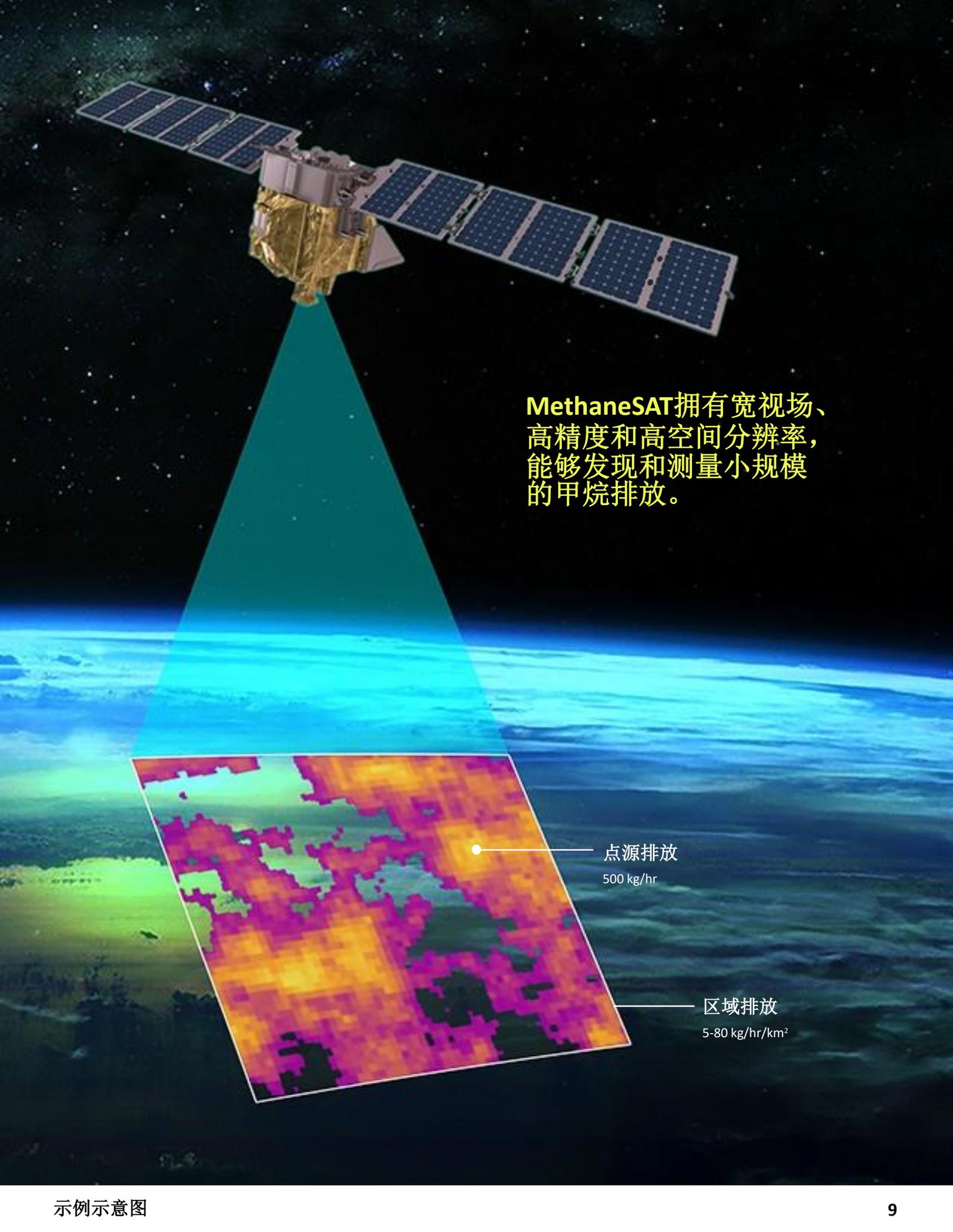
区域源
点源
行业量化

MethaneSAT

局部测绘

点源
设施级测量

GHGSat, PRISMA, EnMAP,
F-5, ZY-1, Carbon Mapper



MethaneSAT拥有宽视场、高精度和高空间分辨率，能够发现和测量小规模
的甲烷排放。

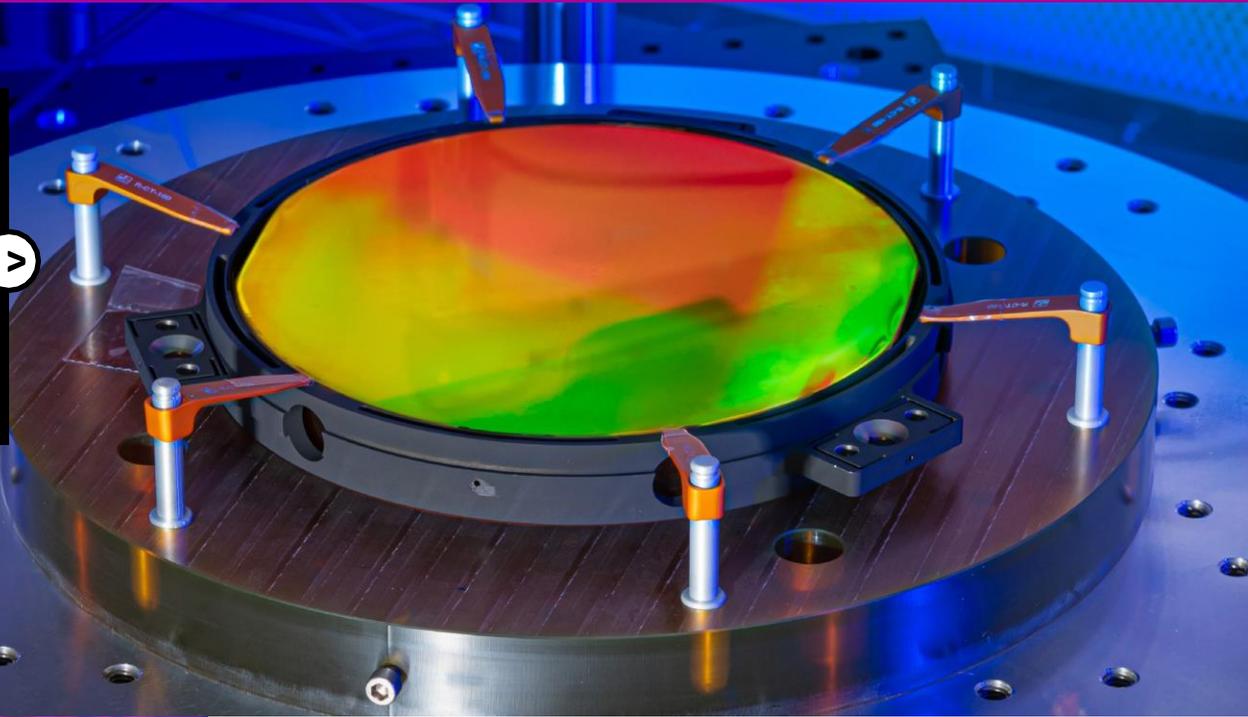
点源排放
500 kg/hr

区域排放
5-80 kg/hr/km²

MethaneSAT的性能

MethaneSAT搭载的光谱仪
将使其能够探测低至3 ppb
的甲烷浓度。

图片来源：波尔航天公司

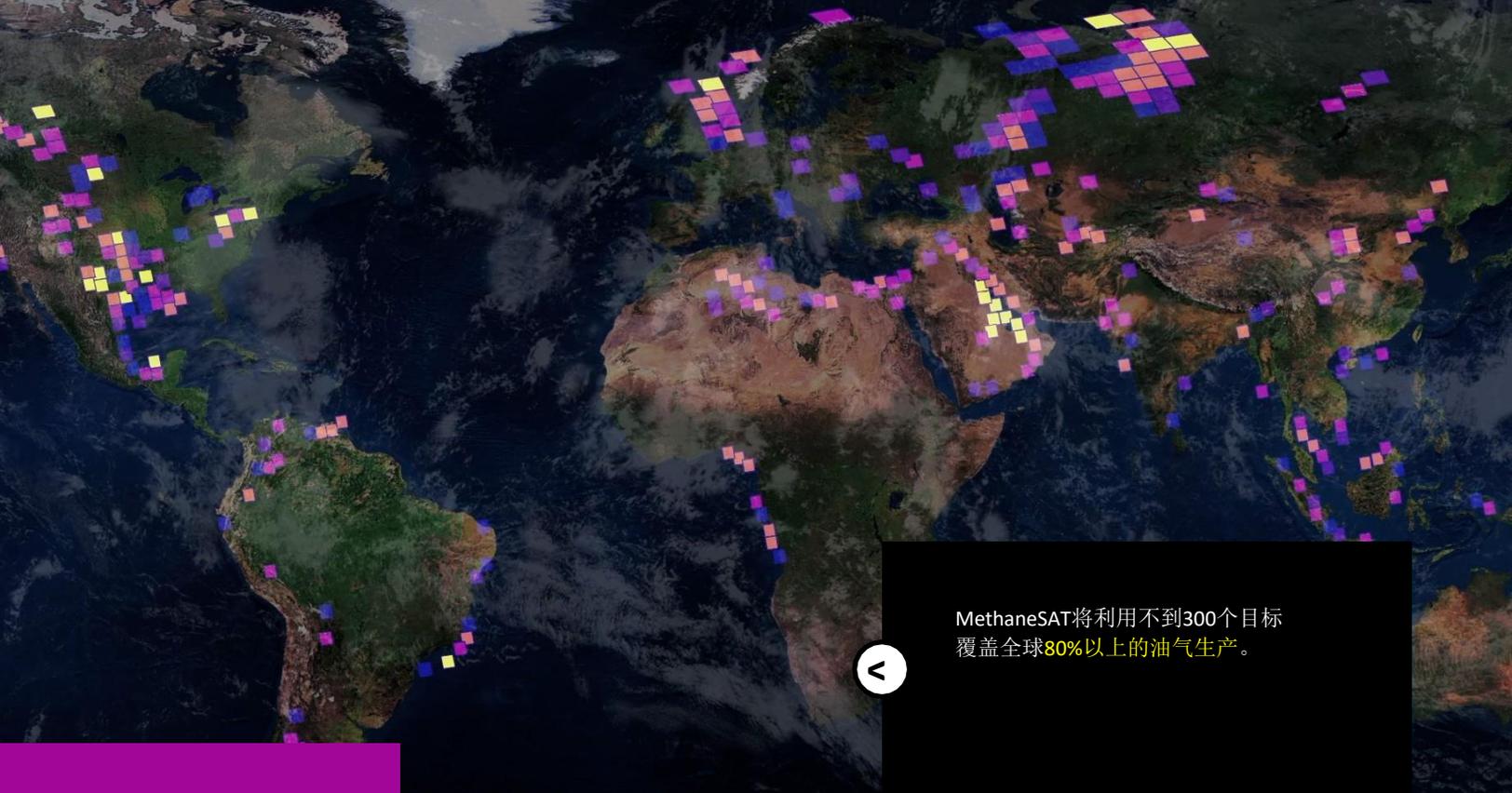


MethaneSAT填补了甲烷遥感卫星生态系统数据提供方面的巨大空白，对现有的TROPOMI和GHGSat等卫星的技术能力提供了有力的补充。MethaneSAT拥有宽视场、超高精度和高空间分辨率，能够识别和测量小规模甲烷排放。该卫星项目的目标是量化全球绝大多数油气产区的甲烷排放，为促进显著减排提供所需的数据。

MethaneSAT的视野宽度为200公里（124英里），原始像素为100m x 400m，每日可绕地球约15圈，每圈耗时约95分钟。由于视野广阔，MethaneSAT仅需使

用150个目标（200km x 200km）即可测量占全球油气产量80%以上的产区的甲烷排放情况（覆盖90%的产量则需测量300个目标），并且目标重访周期仅为3-4天。

MethaneSAT运行计划将根据可用的光线、地球角度和每日天气状况，最大限度提供高质量的数据收集。卫星上搭载的成像光谱仪将分离出甲烷短波红外吸收光谱的窄波段，使MethaneSAT能够检测到低至3ppb的甲烷浓度上升。



MethaneSAT将利用不到300个目标覆盖全球80%以上的油气生产。

全球各地用户将能够比较和对比甲烷排放地点以及排放责任人。

MethaneSAT将对观察到的光谱进行处理，以计算量化的排放率，揭示甲烷的排放量以及它在整个地区中的变化情况。

这是MethaneSAT平台的一个关键功能——快速将原始传感器读数转换为可用的数据。当光谱仪的读数被传送回地球后，MethaneSAT云端数据平台将自动计算排放量，为用户提供常规的可执行的数据流。

这些数据将以可视化形式通过一个免费且公开的平台披露，该平台还将显示各油气田的高分辨率甲烷排放热图。全球

各地的用户将能够比较和对比甲烷排放地点以及排放责任人。

凭借其200公里的幅宽，MethaneSAT的另一个关键功能是其能够以高空间分辨率对整个地区的甲烷排放空间分布进行量化。测绘的区域范围可以从整个油气盆地或突出的次盆地到单个油气田或主要生产热点地区，或跨越数平方公里范围的大型设施。

例如，MethaneSAT 仅需获取四个目标的读数就能覆盖类似二叠纪盆地面积大小的区域，该盆地是世界上最大的油气生产盆地之一。这种广域测量能力使得 MethaneSAT 既可以涵盖点源卫星无法量化的分散排放源，又可以监测 TROPOMI 卫星无法观测到的过于弥散的排放源。

MethaneSAT 也能探测高排放点源的排放情况，从而将排放溯源至特定油气基础设施或设施集群。

结合其广域测量的能力，MethaneSAT 将能够识别其他卫星狭窄观测范围之外的高排放场站。

然而，仅仅跟踪高排放点源并不足以量化和获得总排放量，或者在许多情况下大部分的排放量。因此，值得注意的是，MethaneSAT 将既跟踪弥散性排放，也跟踪点源排放。

MethaneSAT 仅通过四个目标即能覆盖类似二叠纪盆地面积大小的区域。





MethaneSAT的性能*	指标
创建区域源（或空间分布的排放）的高分辨率排放热图	200km x 200km目标区域的每1平方公里的热图，其原始像素为100m x 400m
量化区域总排放量	加权占全球油气产量80%以上的单个油气田、盆地的排放量
自动执行测量排放率的计算，将可能需要耗时数月过程减少到数天。	数天内即可获得可执行的排放率数据
广域覆盖	仅需100分钟即可绕地球一圈，幅宽为200km。根据根据预定的时间表和大气环境，重访周期为每3-4天。
点源溯源	对较大的单次排放事件进行点源溯源
高精度地量化甲烷浓度	可检测3ppb甲烷浓度上升（超过目前在轨的所有卫星的精度）
透明化	公众可免费获取这些数据

*目前仅用于油气产区监测，但未来可能扩大到农业甲烷排放监测。

不过，MethaneSAT的功能也有其局限性。类似测量短波红外光谱的被动遥感技术，MethaneSAT不能在夜间测量甲烷排放。云层和其他天气条件也可能会影响测量，这些因素均会被纳入MethaneSAT控制团队的日常规划，以争取覆盖范

围的最大化。MethaneSAT的小原始像素使其在局部有云条件下仍可收集到有用的数据，因为相关像素可以从分析中被剔除。MethaneSAT将无法实现较小的点源溯源，如将排放溯源到单个火炬、油罐、压缩机或油井，但这些排放将包含在

其区域源数据中。MethaneSAT还能高精度地测量甲烷排放的空间分布。然而，这意味着在全球为数不多的几个运营商高度密集的盆地中，将排放溯源至特定的运营商、设施或工艺流程会更加困难。

数据生成过程

接收数据

数据被解密、重构并准备进入处理流程。

v

数据处理流程

I. 数据协调

对从光谱仪获得的原始数据进行光强校正。

II. 甲烷浓度

根据气象“噪音”（云层、气溶胶和地球表面的反射率）对数据进行处理，然后通过检索模型来确定甲烷的浓度。

III. 网格划分和地理定位

数据被重新映射到地理坐标上，以生成甲烷浓度地图，包括油气基础设施等特征。

IV. 甲烷量化

反演模型用于处理浓度数据与气象数据，以绘制以千克/小时为单位的甲烷排放率地图。将甲烷排放量和地点与设施信息相结合，从而将排放溯源至具体的地点和设施。

v

发送数据

此时的数据已被处理成可供访问的信息，提供如排放源、某个地区的甲烷排放量以及排放量如何随时间推移而变化的等资讯。

MethaneSAT数据的应用

MethaneSAT项目旨在促成和推动更快的甲烷减排行动。

越来越多的油气公司和投资者致力于实现甲烷减排目标，多国政府也在着手强化甲烷减排政策，

MethaneSAT的发射将增加和验证这些利益相关者在做出关键的监管、运营和投资决策时所需的数据。

油气行业案例

油气公司可以利用卫星排放数据来提高运营效率，跟踪合规表现，确保其竞争力，随着对低排放强度碳氢化合物需求的增长，获得该市场的份额。公司将MethaneSAT数据与其自身的排放监测数据相结合，可实现更大程度的运营可见性，而那些在排放监测方面存在重大差距的公司则可以使用这些数据来指导其减排计划的制定。

甲烷数据对于公司管理其未来成本和避免监管处罚非常重要。《2022年通胀消减法》（IRA）及其制定的甲烷减排计划指示EPA从2024年起对油气行业的甲烷排放收费，从900美元/吨开始，到2026年将上升至1500美元/吨。该法还指示EPA更新其油气甲烷排放的报告方法，采用经证明准确的直接测量方法，这些要求对美国油气公司产生直接影响。使用MethaneSAT数据来

确定排放管理的优先顺序，可以帮助公司履行合规等相关要求。

越来越多的客户和投资者也要求能源公司记录其温室气体排放情况并展现排放下降趋势。在财务、运营和声誉风险分析、自愿或强制减排框架以及公司主导的目标等因素的驱动下，及时、准确的数据对公司满足这些期望并展示优良的减排绩效至关重要。

MethaneSAT数据为运营商提供的其他用途包括：

- 优先投资于有利甲烷减排最大化的升级和维修工作。
- 通过识别高排放的联合经营资产，以评估并优先考虑合资企业的参与战略。
- 监测排放随时间推移的变化，并将排放情况与历史记录、竞争对手或邻近公司的表现进行比较。

金融行业案例

出于对公司经营竞争力和能源转型风险的通盘考虑，投资者和其他金融行业人士越来越关注与油气公司甲烷排放相关的财务、监管、声誉和其他风险。尽管有大量的甲烷研究，但公司在现有数据的准确性和可靠性方面经常面临不足。

此外，越来越多的投资公司积极主动地采取了气候或净零排放承诺。格拉斯哥净零排放金融联盟（GFANZ）是一个致力于加速经济脱碳的全球金融机构联盟。该组织拥有550多家银行、保险公司、资产所有者、资产管理公司、金融服务提供商和投资顾问成员单位。

在最近致国际可持续发展标准委员会（ISSB）——一个负责制定可持续发展相关财务报告标准的标准制定机构——的一封评论信中，其所管理的资产总计4万亿美元的投资者最近要求ISSB加强其油气披露要求，要求各公司报告其在OGMP的成员资格和报告水平。同样，气候变化机构投资者小组（IIGCC），其投资者成员共同管理着60万亿美元的资产，正在指导成员公

司加入OGMP，并达到油气净零排放标准中的黄金标准。

使用MethaneSAT平台，分析人员可以：

- 判断一家公司在甲烷管理方面相较于同行的竞争力
- 观察一家公司的甲烷排放如何随时间推移的变化状况

监管案例

美国联邦环保局（EPA）等联邦机构正在制定和强化有关甲烷污染的法规。例如，2023年2月EPA完成了油气甲烷减排法规提案的公众意见征集。该提案旨在通过减少常规燃除、提高泄漏监测要求——监测覆盖所有井场，包括小型的、易泄漏的井，以及逐步淘汰有排放的气动控制器和泵，以零排放设备替代，从而减少甲烷排放。

EPA有望在今年8月敲定最终法规，各州政府和部落政府将有18个月的时间来制定实施计划并将其提交给EPA批准。对于那些未制定计划的政府，EPA将代其制定并实施联邦计划。然而，EPA的法规传统上基于对排放数据的估算，而非直接测量。MethaneSAT等新兴的监测技术对于填补大数据空白和评估法规的实施效果至关重要。

卫星数据对国际机构也很重要。欧盟目前正在就世界上首部区域能源甲烷减排的立法进行谈判。欧盟委员会于2021年12月提出该法案，目前联合立法机构正在对其进行修改。一旦通过，欧盟将建立甲烷排放监测、报告和核查的要求，以及检测和泄漏修复的法律框架。获取及时、准确的排放数据（如MethaneSAT提供的数据）将成为制定针对性和有效政策的关键。

此外，联合国环境规划署的国际甲烷排放观测站（IMEO）将把OGMP成员的数据与MethaneSAT的数据和其他独立测量收集的数据进行汇总和分析，以发现和分析排放报告的差距。

天然气买家案例

全球天然气买家，尤其是欧洲和亚太主要天然气进口地区的大买家，对其商品供应链具有**极大的影响力**。许多买家越来越关注其天然气进口价值链中产生的不必要排放和浪费。有些买家与其政府有着紧密关联。为支持公司和相关国家层面的气候目标，买家可能会将MethaneSAT的甲烷排放数据纳入天然气采购合同中。此外，MethaneSAT的数据可以帮助买家筛选出低排放供应地区，比较天然气供应商的减排业绩，并评估其资产组合中各气源的清洁程度。

其他案例

MethaneSAT数据易于获取和理解，可以支持更多的甚至超过设计之外的用途。

媒体机构和记者可以利用MethaneSAT数据来调查特定公司或地区的甲烷排放情况，如跟踪减排绩效和超级排放事件。

科学家们可以利用MethaneSAT数据来推进大气建模，实现不同规模的排放量化，并改进排放清单，以提高公众对排放报告的信心，并为气候行动提供信息。

公共卫生专家可以利用排放数据，对与甲烷同时排放的危害人类健康的其他有毒污染物（如苯、硫化氢、甲苯和二甲苯等）采取**控制措施**。

公众可以通过多种方式使用这些数据，例如：

- 为特定社区可能存在的健康和安全风险提供决策依据
- 支持倡导油气设施的负责任运营

红外相机可显示甲烷和其他**有害化学物质**，这些化学物质通常从油气场站排放而未被发现。



结论

甲烷探测卫星在绘制全球甲烷排放图和以全新速度、规模和频率提供数据方面发挥着重要作用。

这些卫星数据是油气运营商以及监管机构、投资者、科学家、公共卫生专家和公众等利益相关方的重要信息来源。

MethaneSAT具有广域视野以及高精度和空间分辨率，它的发射将填补现有卫星技术性能的一个关键空白。这将是自史以来第一次人们有可能在全球范围内获得近乎实时的甲烷排放数据（目前存在浓度数据，但缺乏排放率数据，而且两者之间不能直接转换）。MethaneSAT将能够快速将原始传感器读

数处理成可利用的数据，并公开这些信息。这种前所未有的甲烷排放透明度将首次提供全球范围内的排放变化情况，同时也使运营商能够更充分地了解自身的甲烷排放情况，并使利益相关方能够独立核实油气运营商在甲烷温室气体减排目标和承诺方面取得的进展。因此，MethaneSAT将成为加速气候行动的有力工具。

METHANESAT.ORG



@MethaneSAT