

News & Highlights

新发射卫星旨在监督甲烷排放者诚信履约

Sean O'Neill

Senior Technology Writer

2024年3月4日，一颗名为MethaneSAT的新型甲烷观测卫星搭载SpaceX Falcon 9火箭成功发射并进入轨道[1]。该卫星由总部位于美国纽约的环境保护基金会(EDF)与新西兰航天局合作开发，并由包括贝索斯地球基金在内的多家慈善捐赠者资助，有望大幅提升科学家对甲烷排放——尤其是与石油和天然气行业相关的排放——的定位和监测能力。

甲烷在20年内的全球变暖潜力是二氧化碳的80多倍，因此被称为“气候喷灯”[2]。从积极的一面来看，这种温室气体在大气中的存在时间相对较短，因此减少甲烷排放有望在短期内带来气候效益。随着对气候变化的担忧日益加剧[3]，了解和减少甲烷排放已成为越来越紧迫的目标。

MethaneSAT是日益增多的在轨甲烷监测卫星中的最新成员(图1)[4]。使其与众不同的是三个关键因素：探测灵敏度且覆盖范围广、能够生成排放规模和位置地图、数据透明度高。制造商声称，该卫星每95 min绕地球一周，将监测占全球油气产量80%以上地区的排放情况，目标区域大小为200 km × 200 km [5]。其高分辨率红外仪器能够在广大区域内探测到低至每平方米 $5 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ 的甲烷排放量[5]。EDF公司首席科学家Steve Hamburg表示：“我们从未获得过关于任何温室气体的如此高质量的数据。”

目前，MethaneSAT正在接受严格的测试。“我们正在进行受控甲烷释放实验。我们使用卫星以及MethaneSAT的飞机版仪器MethaneAIR进行监测。”Hamburg说，“我



图1. 计算机生成的MethaneSAT的在轨示意图。该卫星每天绕地球15圈，能够在广大区域内探测到低至每平方米 $5 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ 的甲烷排放量。图片来源：EDF/MethaneSAT（公有领域）。

们拥有有史以来最精确的温室气体监测卫星，因此其运行数据将重构环境监测范式。”

Hamburg表示，MethaneSAT团队计划在2024年年底前公开发布部分数据，而MethaneSAT的三合一在线数据产品包（所有人均可免费获取）预计将于2025年年初上线。其中一款产品将揭示全球主要油气生产地区（即盆地）的甲烷排放总量，第二款产品将绘制每个流域的甲烷排放分布图，而第三款产品将重点详述高排放点源。

MethaneSAT的预期作用在于其支持气候问责的潜力。鉴于最新数据显示全球大气中的甲烷浓度持续攀升至创纪录水平，这一点显得尤为重要且适时。根据美国国家海洋和大气管理局(NOAA)的数据(图2)，2023年全球大气甲烷浓度升至1923 ppb (parts per billion, 十亿分之一体积

浓度), 比2022年高出11 ppb [6]。据估计, 农业是人为活动导致大气中甲烷浓度升高的最大因素, 而全球能源行业的甲烷排放量仅略低于农业 (图3) [7]。尽管如此, 甲烷减排仍然需要重点关注工业甲烷泄漏问题, 因为甲烷泄漏可预防并且堵住现有泄漏, 可为生产商节省大量成本。

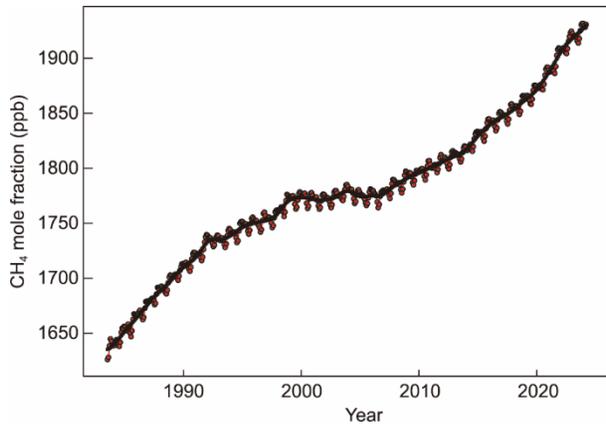


图2. 自1983年美国政府机构国家海洋和大气管理局 (NOAA) 开始进行甲烷观测以来, 全球大气中甲烷的平均浓度 (以ppb为单位)。2023年, 大气中的平均甲烷浓度达到1923 ppb。图片来源: NOAA (公有领域)。

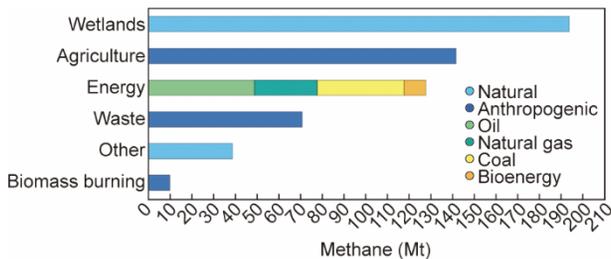


图3. 2023年大气甲烷排放源的分类 (单位: 百万吨)。能源部门在很大程度上由石油和天然气生产推动, 紧随农业之后, 成为人类活动相关甲烷排放的第二大来源。图片来源: 国际能源署 (CC BY 4.0)。

由总部位于法国巴黎的国际能源署发布的《2024年全球甲烷追踪》报告指出, 2023年化石燃料的生产和使用排放了约1.2亿吨甲烷[8]。该机构还发现, 与2022年相比, 卫星探测到的能源行业甲烷严重泄漏事件增加了50%以上, 甲烷排放量超过了500万吨。其中包括在哈萨克斯坦发生的一起重大井喷事故, 该事故持续了205 d以上, 期间估计排放了13万吨甲烷[9]。

确定能源行业甲烷排放的真实数量一直颇具挑战。最近发表在*Nature*期刊上的一项研究综合了来自美国陆上油气产区中大部分区域、约100万次飞机观测的数据, 结果显示, 美国环境保护署 (EPA) 提供的官方甲烷排放量估计值仅为调查区域实际排放量的约三分之一[10]。该研究的作者认为, 这种差异部分是由于依赖不完整数据 (包括来自地面观测的数据) 导致的, 这些数据可能会遗漏大量的大型点源甲烷排放。

该研究的主要作者、现任劳伦斯伯克利国家实验室 (美国加利福尼亚州伯克利) 研究科学家的Evan Sherwin表示, 能源行业的大部分甲烷排放是由点源“低概率但高后果”的泄漏造成的。Sherwin在斯坦福大学 (美国加利福尼亚州斯坦福) 工作期间主导了这项研究。“在飞机直接观察到的总排放量中, 无论是在井场还是在天然气运输和加工基础设施上, 超过一半的排放量仅来自约1%的地点。”他说道。Sherwin还协助进行了MethaneAIR [11]的测试工作, MethaneAIR是MethaneSAT的飞机搭载前身和对应项目。

Sherwin表示: “由于油气开采及其相关管道构成了一个庞大的网络, 因此对几乎所有方面进行测量都是必不可少的。一种类似于MethaneSAT的方法, 在可能的情况下结合全面的空中点源调查, 有望成为区域甲烷排放估算的黄金标准。”

将MethaneSAT与MethaneAIR结合使用以更好地识别和量化此类点源, 将有助于支持最近势头正盛的与甲烷减排相关的地缘政治行动。例如, 2023年12月, 在阿拉伯联合酋长国迪拜举行的第28届联合国“缔约方大会”气候变化会议上, 52家公司共同承诺, 到2030年将天然气生产相关的甲烷排放量降至接近零的水平; 这些公司的化石燃料产量占全球产量近一半[12]。

然而, 这一承诺遭到了质疑。斯坦福大学地球系统科学教授兼全球碳项目主席Rob Jackson在之前接受*Engineering*期刊采访时表示: “他们在2030年之前将排放量降至接近零的可能性几乎为零。” [13] Jackson指出, 天然气 (主要成分是甲烷) 是美国增长最快的燃料, 因为美国的能源转型主要是用天然气来替代煤炭, 而非向可再生能源转型。同样持冷静态度的联合国秘书长António Guterres表示: “化石燃料行业终于开始觉醒, 但所作出的承诺显然远未达到减排所需水平。” [14] Guterres还指出, 到2030年, 人类活动产生的甲烷排放量预计将增加13%。

2024年3月8日, 美国EPA出台了一项“最终规则”, 旨在加强、扩大和更新美国油气行业的甲烷排放报告要求 [15]。该规则通过“促进使用卫星数据来识别超级排放源并量化大型排放事件, 要求对关键排放源进行直接监测”, 弥补了行业报告甲烷排放量与实际甲烷排放量之间的差距。MethaneSAT能够提供关于美国各地油气生产盆地甲烷排放的全面、定期数据, 因此有可能在推动甲烷减排方面发挥重要的独立监督作用。

除人为甲烷排放外, 来自于自然源——特别是热带湿地——的甲烷排放也日益引起人们的关注。全球湿地是迄今为止最大的大气甲烷自然排放源, 其每年排放的甲烷

约占自然和人为排放总量的三分之一（图3）[7]。问题在于，全球变暖似乎正在加剧来自湿地的甲烷排放[16]。

热带湿地对气候变暖特别敏感，原因主要有两个：首先，气候变暖会通过增强微生物活性释放更多甲烷；其次，降雨量增加会导致湿地扩张，并为甲烷的产生创造更多厌氧条件。这种正反馈机制意味着，即使在政府间气候变化专门委员会（IPCC）的代表性浓度路径 2.6（RCP2.6）这一最佳情景下（即人类设法大幅减少温室气体排放），湿地甲烷排放量预计仍将显著增加。事实上，根据RCP2.6情景预测，到21世纪末，这些来自自然源的甲烷排放量将超过人类甲烷排放量，进一步加剧全球变暖[16]。而最近报道的2020—2021年全球湿地甲烷排放量创纪录激增[17]的情况，似乎使IPCC的最佳情景预测变得极为不切实际。

如果考虑潜在因素，问题可能将更为严重。中国科学院青藏高原研究所教授 Zhen Zhang 表示，目前高纬度地区被冰层覆盖的湿地未来可能会释放甲烷。“根据我们的模拟，当温度达到一定水平时，永久冻土可能会融化，湿地覆盖范围将扩大并向大气中释放大量甲烷。” Zhang 说道，他负责协调全球碳项目中全球甲烷预算的湿地部分。

鉴于未来自然来源的甲烷排放量可能会增加，短期内减少大气中甲烷的最佳希望似乎在于关注人为排放，尤其是来自全球石油和天然气行业的排放，因为该行业可能存在相对容易且可能节省成本的解决方案。“你无法减少自然来源的甲烷排放，因为它们分布太广泛了。” Zhang 说，“我们需要加大力度减少人为甲烷排放，以抵消自然来源的正反馈循环。”

而 EDF 公司的 Hamburg 对此持乐观态度。他认为，MethaneSAT 的数据（“甲烷的闭路电视监控系统”）将为石油和天然气公司“力争上游”提供基础。他表示：“有了 MethaneSAT 的高质量数据，任何一家甲烷排放量低的公司都能确凿地证明它们的表现优于平均水平。这样一来，液化天然气的大型国家买家就能了解他们从卖家处购买产品时对气候的影响——这种透明度至关重要。”

References

- [1] IN ORBIT: successful MethaneSAT launch represents groundbreaking mission to protect the climate [Internet]. Austin: MethaneSAT; 2024 Mar 24 [cited 2024 Jun 6]. Available from: <https://www.methanesat.org/project-updates/methanesat-is-launching-today-on-ground-breaking-mission-to-protect-the-climate/>.
- [2] Methane emissions—European Commission [Internet]. Brussels: European Commissions; c2024 [cited 2024 Jun 6]. Available from: https://energy.ec.europa.eu/topics/carbon-management-and-fossil-fuels/methane-emissions_en.
- [3] Palmer C. Latest climate report sounds alarm on closing window for mitigation. *Engineering* 2023;30:7–9.
- [4] O'Neill S. Climate change action alights on satellite detection of methane. *Engineering* 2022;16:9–12.
- [5] About the satellite—MethaneSAT [Internet]. Austin: Environmental Defense Fund; [cited 2024 Jun 6]. Available from: <https://www.methanesat.org/satellite/>.
- [6] No sign of greenhouse gases increases slowing in 2023 [Internet]. Silver Spring: NOAA Research; 2024 Apr 5 [cited 2024 Jun 6]. Available from: <https://research.noaa.gov/2024/04/05/no-sign-of-greenhouse-gases-increases-slowng-in-2023/>.
- [7] Understanding methane emissions—Global Methane Tracker 2024—analysis [Internet]. Paris: IEA; c2024 [cited 2024 Jun 6]. Available from: <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2024/understanding-methane-emissions>.
- [8] Key findings—Global Methane Tracker 2024—analysis [Internet]. Paris: IEA; c2024 [cited 2024 Jun 6]. Available from: <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2024/key-findings>.
- [9] Guanter L, Roger J, Sharma S, Valverde A, Irakulis-Loitxate I, Gorroño J, et al. Multi-satellite data depicts record-breaking methane leak from a well blowout [Internet]. *EarthArXiv preprint*; 2024 Mar 11 [cited 2024 Jun 6]. Available from: <https://eartharxiv.org/repository/view/6709/>.
- [10] Sherwin ED, Rutherford JS, Zhang Z, Chen Y, Wetherley EB, Yakovlev PV, et al. US oil and gas system emissions from nearly one million aerial site measurements. *Nature* 2024;627(8003):328–34.
- [11] Chulakadabba A, Sargent M, Lauvaux T, Benmergui JS, Franklin JE, Miller CC, et al. Methane point source quantification using MethaneAIR: a new airborne imaging spectrometer. *Atmos Measure Tech* 2023;16(23):5771–85.
- [12] Gambrell J, Prengaman P, Borenstein S. At COP28 meeting, oil companies pledge to combat methane. Environmentalists call it a “smokescreen” [Internet]. New York City: Associated Press; 2023 Dec 2 [cited 2024 Mar 14]. Available at: <https://apnews.com/article/climate-changemethanecop28-58c756d843fbc696b28a330295505be7>.
- [13] Bourzac K. COP28 makes it official: fossil fuels cause climate change. *Engineering* 2024;37:3–5.
- [14] COP28: methane pledge by the “giants behind the climate crisis” falls short, says Guterres [Internet]. New York City: UN News; 2023 Dec 3 [cited 2024 Jun 6]. Available from: <https://news.un.org/en/story/2023/12/1144282>.
- [15] Biden-Harris Administration announces final rule to cut methane emissions, strengthen and update greenhouse gas emissions reporting for the oil and gas sector [Internet]. Washington, DC: EPA; 2024 May 6 [cited 2024 Jun 6]. Available from: <https://www.epa.gov/newsreleases/biden-harris-administration-announces-final-rule-cut-methane-emissions-strengthen-and>.
- [16] Zhang Z, Zimmermann NE, Stenke A, Li X, Hodson EL, Zhu G, et al. Emerging role of wetland methane emissions in driving 21st century climate change. *Proc Nat Acad Sci* 2017;114(36):9647–52.
- [17] Zhang Z, Poulter B, Feldman AF, Ying Q, Ciais P, Peng S, et al. Recent intensification of wetland methane feedback. *Nat Clim Chang* 2023; 13(5): 430–3.