
火星啥时候刮沙尘暴？中国科学家造了个“数字球”

”

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/37302.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

火星啥时候刮沙尘暴？中国科学家造了个“数字球”

。在距离地球2亿公里的火星表面，一场足以覆盖整个星球的沙尘暴正在酝酿。对于在这颗红色星球上工作的火星探测设备而言，这样的极端天气无异于一场生存挑战。

随着“天问一号”任务的成功实施与“天问三号”采样返回任务的稳步筹备，中国火星探测已迈入全新阶段，对火星气象环境，尤其是对沙尘循环的认知需求日益迫切。

近日，首个中国自主研发的火星大气环流模式GoMars应运而生。这项突破，不仅填补了我国在火星数值模拟领域长期存在的自主模式空白，更为未来中国的火星探测任务提供了关键的“气象保障”。相关研究发表于《大气科学进展》。

搭建一颗“数字火星”

当1971年人类首个火星探测器“水手9号”到达火星轨道后，发现火星上正在上演全球性沙尘暴。火星沙尘暴可以从一个区域开始，在数周内蔓延至整个星球，将火星表面完全笼罩在沙尘中，持续数月之久。

在火星探测中，每一次着陆、每一个火星车的移动，都极度依赖对当地环境的准确研判。火星的沙尘循环系统在塑造火星日常天气的同时，更在长期气候演化中扮演着核心角色。其中，“随机”爆发的全球性沙尘暴，是典型的极端天气事件，也是引发火星气候出现显著年际变率的主要驱动力。

长期以来，火星大气数值模拟领域几乎是欧美国家的“主场”。2021年5月，“天问一号”携带的祝融号火星车成功着陆于火星乌托邦平原，我国对火星气象环境，尤其是对沙尘循环的认知需求日益迫切，却始终缺乏自主的火星大气模式。

2021年起，在国家自然科学基金、国家重大科技基础设施“地球系统数值模拟装置”、中国科学院大气物理研究所（大气所）“十四五”基础科研项目及深空实验室“天问三号”关键技术攻关项目等联合资助下，大气所研究员王斌、董理、李艺苑、普业、刘娟娟、刘鸿波等科研人员，接下了这项从零开始的任务。

“构建一个行星尺度的大气环流模式，复杂性不亚于在虚拟空间中创造一颗星球。最开始面临的问题是无从下手，火星大气稀薄，重力环境特殊，地球大气模式的框架无法直接套用。”董理说。

最初的几个月里，董理和博士生刘帅几乎整天泡在办公室里，从最基本的物理方程出发，一行代码一个模块地搭建模型雏形，在个人电脑上进行低分辨率的原理性验证。

事实上，大气环流模拟是高性能计算的典型应用。当模型复杂度提升，对算力的需求急剧增长。

“以1度分辨率为例，目前使用240个国产CPU核心，模拟一个火星年需要约8个小时，因此开展火星沙尘循环模拟需要充足的计算资源支撑。”董理回忆道。通过持续争取，团队在国家重大科技基础设施“地球模拟装置”上获得了专属计算资源，并以“GoMars”命名计算队列。

王斌说：“这标志着项目从个人探索正式迈入了大规模科学计算的阶段，为后续深度模拟奠定了基石。”

在模型中“孕育”沙尘暴

在火星气候模拟领域，有一个公认的世界难题：如何模拟出火星沙尘循环的年际变率？

“模拟火星的平均气候状态相对容易，但要让它‘自发地’产生全球性沙尘暴，尤其是以合理的频率和强度产生，这是国际学界几十年来一直未能完全解决的难题。”刘帅解释道。之前的许多模型要么无法产生全球性沙尘暴，要么产生的频率和强度与观测不符。

为此，刘帅进行了两方面的关键创新。首先，通过借鉴地球沙尘模拟经验并结合火星观测理论，对地表起沙通量施加了物理上合理的约束，设计了一套适合火星特殊环境的起沙参数化方案，避免模拟崩溃或失真。

其次，在模式的边界层物理过程中，刘帅增加了沙尘的湍流混合过程。“这一改进至关重要，使得沙尘不仅能被水平风输送，还能通过湍流垂直交换更有效地抬升，这是现实中沙尘发展至高耸尘卷、并可能触发大规模反馈的关键。”XX说。

接下来是漫长的调试与等待，他们进行了海量的敏感性试验，调整各种参数组合。GoMars已经在超级计算机上连续运行了数月，模拟了超过100个火星年的气候变化。然而，模型中的火星年复一年地平静，没有出现期待的沙尘暴。

“那时我们几乎要放弃了，怀疑自己的物理方案是否存在根本性缺陷。”刘帅回忆道。2024年10月的一个深夜，刘帅像往常一样检查模型运行结果，转机出现了。

GoMars的沙尘指数开始急剧飙升，模拟出的火星地面气压年循环曲线，与上世纪70年代“维京号”探测器在火星表面实测的数据曲线几乎完美重叠。“当两条曲线严丝合缝地对上时，心中的大石头终于落了地。”刘帅说。

以此为契机，团队展开了更精细的优化。最终，在长达50个火星年（约100个地球年）的超长期模拟中，GoMars不仅稳定再现了沙尘的日循环和季节迁移，更成功模拟出了全球性沙尘暴的自然爆发。

GoMars模拟的火星沙尘循环的年际变率、起沙过程和全球性沙尘暴快速爆发的正反馈机制。大气所供图

在日循环尺度上，模拟的尘卷风起沙通量峰值出现在当地时间12:00至13:00之间，与“火星探路者”火星车的实测记录相符。此外，GoMars准确模拟出亚马逊地区作为尘卷风活动热点的强烈起沙现象，与观测识别结果一致。

在缺乏直接观测数据的情况下，研究进一步将GoMars模拟的近地表风应力起沙通量与国际上先进的MarsWRF等火星大气环流模式进行对比，结果显示二者在季节变化与空间分布上具有良好一致性。

打造“火星天气预报系统”

研究火星，最终也是为了更好地理解地球。火星，这颗曾经拥有厚重大气层和液态水海洋的星球，如何在数十亿年间变成今天的寒冷荒漠？GoMars的研究提供了一些线索。

模拟显示，全球性沙尘暴在火星大气逃逸过程中可能扮演了“加速器”的角色。当沙尘充满大气时，它们吸收太阳辐射，导致高层大气温度升高，从而加速气体分子的热逃逸。

“这一发现对地球气候研究具有重要启示。虽然地球目前不会经历火星那样的全球性沙尘暴，但火星的气候变迁提醒我们，行星气候系统是复杂且脆弱的，一旦越过某个临界点，就可能发生不可逆转的变化。”王斌说。

随着GoMars核心模型的成功验证，团队已经开始规划下一步发展路线。“未来的火星天气预报可能需要精确到小时级别，预报内容包括风速、风向、温度、沙尘浓度、辐射水平等多个要素。”董理展望道，“科学没有国界，行星探索更是全人类的事业。我们希望GoMars不仅能为中国的火星探索服务，也能为国际行星科学界做出贡献。”

相关论文信息：<https://doi.org/10.1007/s00376-025-5190-2>.

作者：高雅丽 来源：中国科学报

更多科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发