

# 火山与野火，正在给平流层“加湿”

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/40607.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！**

火山与野火，正在给平流层“加湿”。如果告诉你，十几公里高空之上、含量仅为空气百万分之几的水汽，能影响全球变暖的节奏，甚至左右臭氧层修复的进度，你会不会觉得难以置信？

7月1日晚，《自然》在线刊发了暨南大学联合兰州大学、中国科学院大气物理研究所、美国国家大气研究中心、美国国家海洋和大气管理局、美国科罗拉多大学博尔德分校等机构的最新成果。研究团队首次在真实大气观测中系统识别出中等规模火山喷发和极端野火导致平流层水汽增加的共同信号。



---

俞鹏飞教授作报告。受访者供图，下图

我们验证的核心结论是：火山喷发和极端野火产生的气溶胶，能够在真实大气中增加平流层水汽。暨南大学教授俞鹏飞对《中国科学报》表示，该研究填补了平流层水汽研究中长期存在的观测-模式鸿沟。定量评估发现，2005年以来，中等规模火山和极端野火贡献了平流层水汽上升趋势超过三分之一，贡献量与地表变暖相当。

记者获悉，该研究历时近两年完成，第一署名单位为暨南大学，兰州大学博士彭艺峰在访问暨南大学期间参与完成该研究并担任第一作者，俞鹏飞为论文通讯作者。

看不见的平流层水汽，为何重要

平流层水汽对大多数人来说是个陌生概念——它既不像台风、暴雨那样出现在天气预报里，也不像二氧化碳那样被公众熟知。但在气候系统中，这个高空变量扮演着不可小觑的角色。

水汽本身就是大气中最重要、含量最丰富的温室气体之一。单个水汽分子的增暖效应约为二氧化碳分子的6倍，因此即使平流层水汽含量很少，其变化也能显著影响地球变暖速率。

美国科学院院士Susan Solomon等人的研究曾指出，2000年前后平流层水汽突然下降约10%，其抵消的增温效应相当于2000-2009年间温室气体所致变暖的四分之一。平流层水汽的细微波动，足以撬动全球气候评估的天平。

与此同时，平流层也是臭氧层所在的大气区域。水汽参与平流层臭氧化学过程，进而影响臭氧层变化和臭氧洞恢复评估。因此，弄清楚平流层水汽为何变化、由哪些因素控制，不仅是一个高空大气的基础科学问题，更关系到气候预测、辐射强迫评估和臭氧恢复预估的可靠性。

我们研究的突破，来自研究思路的转变。彭艺峰对《中国科学报》说。过去，科学界多尝试从单次大型火山喷发中寻找平流层水汽增加的证据，但真实大气中自然变率很强，单次事件的水汽信号很容易被其他过程掩盖。

要理解这一问题，先要认识热带对流层顶——水汽进入平流层的必经之门，常被称为冷阱或阀门。温度较低时，水汽更容易凝结并被阻挡在平流层之外；一旦这一区域被加热，更多水汽便可能穿过关口进入平流层。气候模式长期显示，火山喷发和极端野火产生的气溶胶可以加热热带对流层顶，从而促使平流层水汽增加。气溶胶增加-对流层顶升温-平流层水汽增加这一物理链条，在气候模式中已相当清晰。

然而，在真实大气观测中，这一过程长期缺乏直接证据。过去人们通常认为，如果火山喷发能造成明显的平流层增湿，大型火山应当最容易被观测到。但令人困惑的是，即便是1991年皮纳图博火山这样的大型喷发，观测中也未能清晰识别出火山导致平流层水汽增加的信号。长期以来，科学界因此难以判断：模式中清晰呈现的过程，究竟是真实大气中的物理机制，还是模式里的理想化结果？

造成这一观测-模式鸿沟的重要原因在于，真实大气并非理想实验室。平流层水汽同时受地表变暖、厄尔尼诺、热带准两年振荡、太阳活动和大气内部动力变化等多种因素影响，火山或野火引起的水汽响应信号如同微弱的耳语混在嘈杂的集市中，很难被单独分辨出来。而2005年至今，可靠的卫星观测记录仍然有限，进一步增加了识别难度。

---

间歇性事件，也有长期积累效应

研究团队注意到一个关键细节：中等规模火山并非大型火山的缩小版。一方面，2005年以来卫星观测精度明显提高，为识别平流层水汽、气溶胶和热带对流层顶温度变化提供了更可靠的数据基础；另一方面，中等规模火山虽然释放的气溶胶总量少于大型火山，但其气溶胶往往更集中在热带对流层顶附近——而这里正是水汽进入平流层的咽喉要道。这意味着，中等规模火山造成平流层增湿的效率可能并不低。



俞鹏飞（右一）教授、彭艺峰（左一）博士等合影。

基于这一认识，团队将2005-2021年间多次中等规模火山喷发和极端野火事件综合起来，利用卫星观测资料追踪事件前后平流层水汽、气溶胶和热带对流层顶温度的变化。通俗地说，这就像在嘈杂环境中寻找一段微弱旋律——单独听一次可能模糊不清，但把多次相似片段叠加起来，随机噪声会部分抵消，共同信号就会显现。

研究人员指出，该研究最大难点正是如何从复杂自然变率中分离出火山和野火的影响。团队通过多事件合成分析和统计方法，使不同样本中的自然变率影响尽量保持一致，从而在真实大气这个无法人为控制的系统中，尽可能接近控制变量的效果。

在此基础上，团队同时追踪平流层水汽、气溶胶和温度变化，检验观测结果是否符合气溶胶增加-

---

对流层顶升温-平流层水汽增加的完整物理链条。

最终，研究团队在复杂自然变率中识别出了火山和极端野火事件导致平流层增湿的共同指纹——这是科学界首次在真实大气观测中系统证实这一长期存在于气候模式中的物理过程。

该研究的重要突破不仅在于证明了火山和野火能够增加平流层水汽，更在于揭示了这一影响的量级。俞鹏飞对《中国科学报》说。

研究发现，2005年以来，中等规模火山喷发和极端野火共同解释了观测到的平流层水汽上升趋势超过三分之一，贡献量与全球地表变暖相当。这表明，火山和野火这类看似短暂、间歇性的气溶胶增加事件，也能够年代际尺度上系统影响平流层大气湿度。

更值得注意的是，研究还发现极端野火为平流层水汽提供了一条过去未被充分认识的新通道。以往研究通常认为水汽主要经由热带对流层顶进入平流层；而本研究发现，发生在中纬度地区的极端野火可通过烟羽自抬升过程，将水汽和颗粒物直接输送到平流层中。换言之，极端野火不仅能通过改变热带阀门影响平流层水汽，还能从中纬度开辟一条进入平流层的新通道。

这种累积效应不可小觑。2005-2021年间，中等规模火山喷发和极端野火共同增加的平流层水汽总量，与2022年汤加火山喷发直接注入平流层的水汽量相当。汤加火山因向平流层注入大量水汽而受到广泛关注；而这项研究提示，即使没有类似汤加这样罕见而剧烈的单次事件，多次中等规模事件的累积效应同样可以达到相当可观的量级。

从是否存在到贡献多少

该研究把此前主要停留在气候模式中的关键物理过程推进到了可观测、可量化的新阶段。过去，由于缺少观测证据，科学界难以判断气溶胶增加-平流层增湿是否真实存在；如今，观测证据的出现使问题进一步转向：气候模式能否准确模拟这一过程？如何提高对火山和野火气溶胶增湿效应的刻画能力？

这些问题的答案，直接关系到气候预测、辐射强迫评估和臭氧恢复研究的可靠性。过去，人们更容易把火山喷发与‘遮阳降温’联系在一起，把野火与空气污染、生态破坏和碳排放联系在一起。俞鹏飞说。

而该研究给出了一个新视角：火山和极端野火还可能通过改变平流层水汽这一路径，影响平流层大气组成和长期气候变化。随着全球变暖背景下极端野火风险持续上升，野火导致的平流层增湿过程可能在未来变得更加重要。未来的气候预测和臭氧恢复评估，不能只关注传统的热带进入通道和气溶胶直接辐射效应，也需要重视火山和极端野火引发的这一增湿过程。

该研究也对平流层气溶胶地球工程的风险评估具有启示意义。俞鹏飞表示，人为向平流层注入气溶胶虽已被现实火山案例和气候模式证实其降温有效性，但这项研究也提示，这些气溶胶同样可能通过影响平流层水汽和臭氧化学过程带来更复杂的气候与环境效应。因此，在相关技术讨论中，有必要充分评估这些潜在风险。

下一步，研究团队将围绕一个核心问题继续推进：过去被忽略的气溶胶导致平流层增湿的过程，如何影响平流层气溶胶的演变及其气候-环境效应。相关成果将为改进气候模式、完善平流层组成预测、评估极端野火气候效应和臭氧恢复不确定性提供新的科学依据。

---

从模式到观测，从是否存在到贡献多少，这项研究把平流层水汽变化机制的认识推进了一大步。而它的最终价值，或许正如俞鹏飞所言：它让一个原本停留在气候模式中的物理过程有了观测依据，也为改进气候预测和臭氧恢复评估提供了新的科学支撑。在高空中默默流淌的水汽，正通过火山与野火之手，与地球的未来紧密相连。（来源：中国科学报 朱汉斌）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41586-026-10731-0>

作者：俞鹏飞等 来源：《自然》

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