

看不见的“多数派”：超细颗粒物如何悄悄搅动全球气候？

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/42737.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！

看不见的“多数派”：超细颗粒物如何悄悄搅动全球气候？。

超细颗粒物（UFPs，空气动力学直径 $<100\text{ nm}$ 的颗粒物）在大气总质量中占比极低，基于PM_{2.5}、PM₁₀的现行标准几乎无法反映其污染水平。然而在城市区域，其粒子数占比高达80%以上，是大气中数量绝对主导的组分。这种质量可忽略、数量占优势的矛盾，使其对气候系统的调控远非质量份额所能衡量。UFPs通过含黑碳组分的光吸收产生直接辐射效应，并通过参与云凝结核（CCN）生成改变云特性，间接影响辐射收支。厘清这一效应，是提升气候预测可靠性、优化减排路径的基础性科学问题。

南京信息工程大学王建栋团队联合美国田纳西大学邢佳团队在中国工程院Engineering集群分刊ENGINEERING Environment期刊发表题为The climate effects of ultrafine particles: uncertainties and future perspectives的观点文章，系统梳理了超细颗粒物直接与间接辐射效应的研究现状，揭示了UFPs气候效应存在较大估算不确定性，并提出了多平台观测与跨尺度模拟的解决思路。

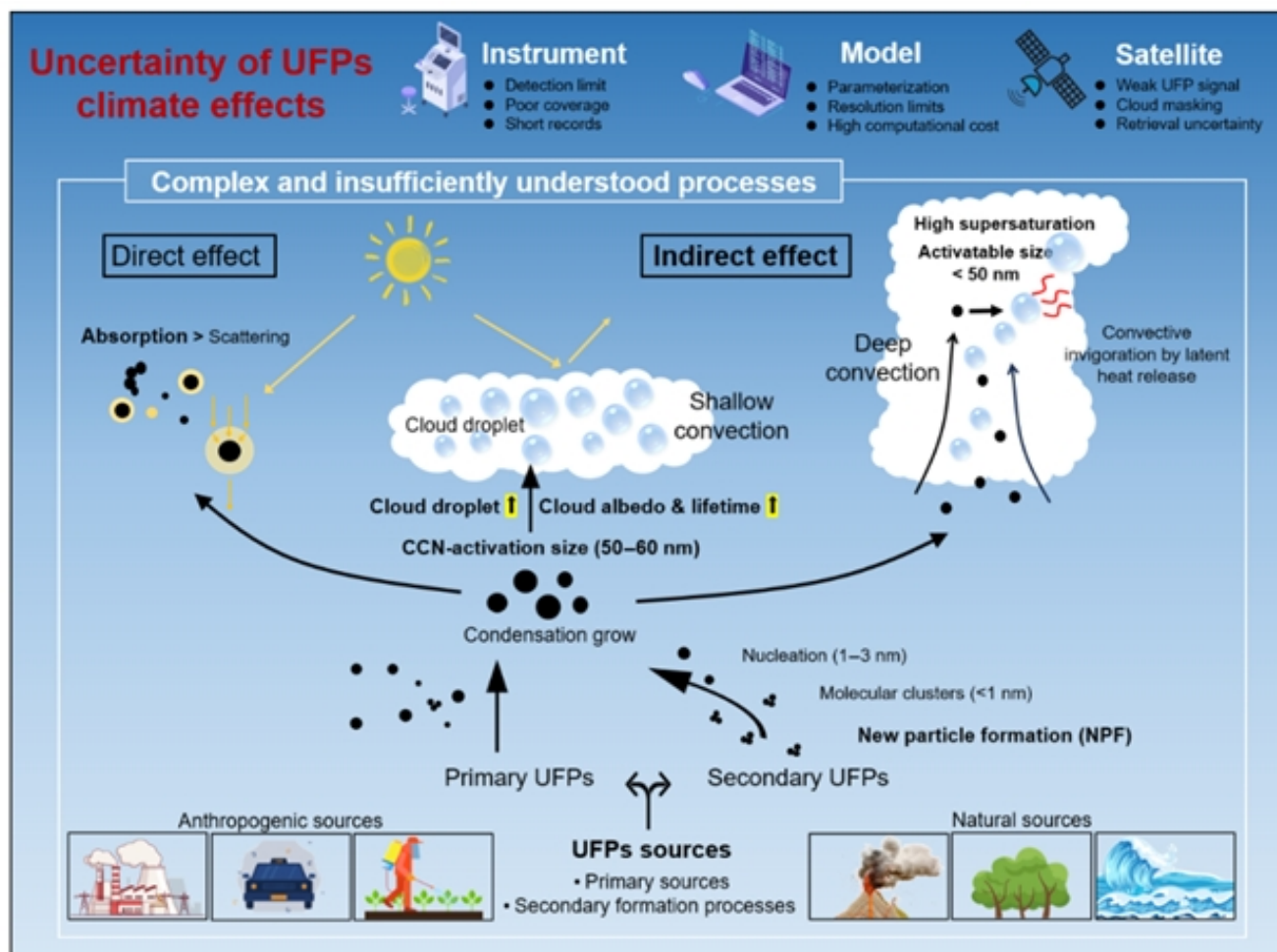


图1.摘要图

观测与模拟双双遭遇技术瓶颈

当前认知面临两大技术瓶颈。观测端，常规仪器灵敏度不足：占黑碳总质量10%–15%的超细黑碳因粒径太小无法被常规仪器有效探测，其吸光贡献被系统性低估；卫星遥感反演的气溶胶光学厚度（AOD）主要由大粒径粒子贡献，难以捕捉UFPs的全球分布与时空演变。模拟端，全球气候模型水平分辨率仅10–200 km，无法解析城市、工业区等排放源附近的浓度梯度；UFPs从新粒子生成（NPF）到增长为CCN的过程跨越分子到全球尺度，现有模型计算成本过高，只能大量简化。这两方面短板使UFPs成为气候评估中约束相对不足、具有较大不确定性的环节之一，直接制约了人为气溶胶冷却效应估算的可信度。

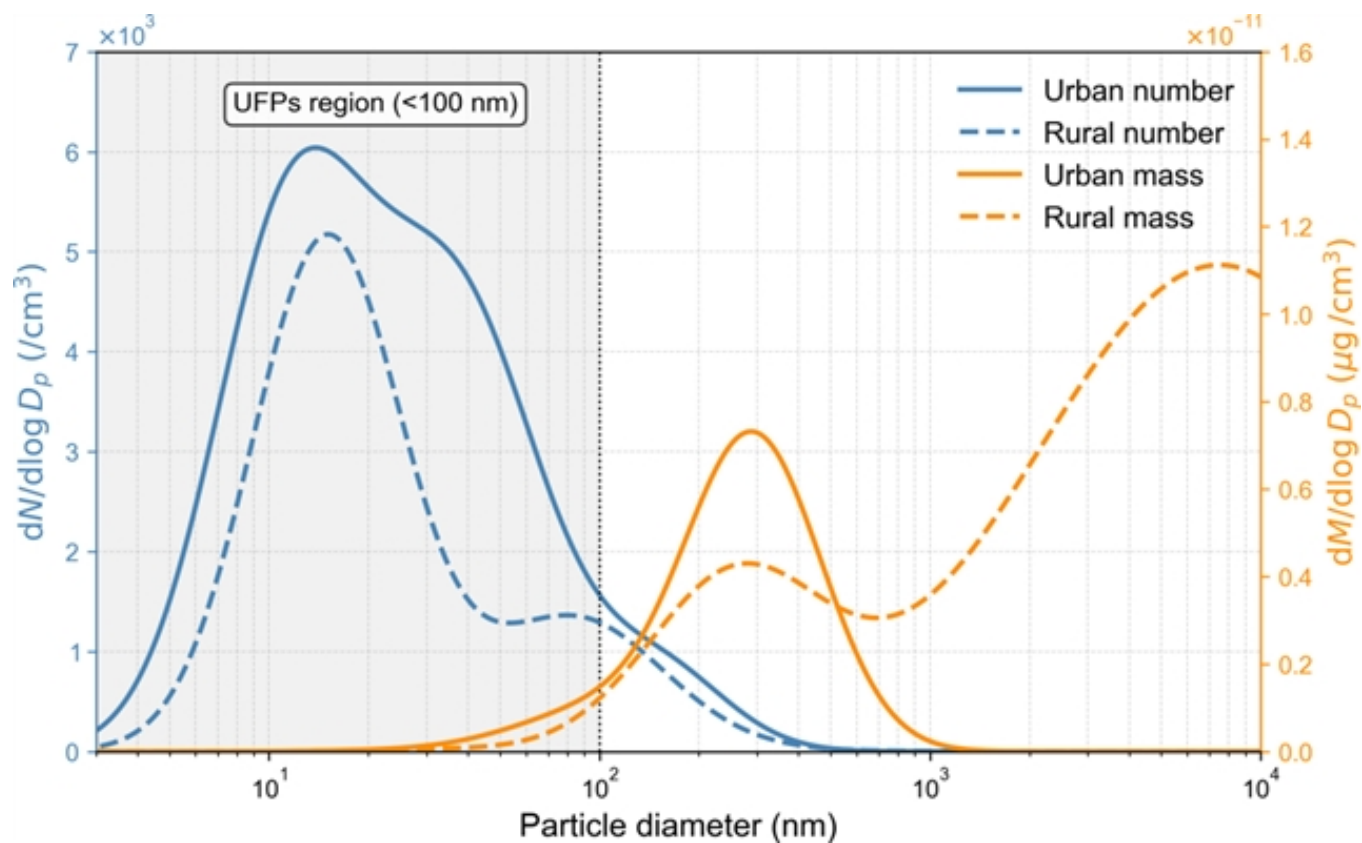


图2.典型的城乡大陆气溶胶颗粒数量和质量分布，表明UFP在数量上占主导地位，但在质量上并不占主导地位（Seinfeld和Pandis，2016）。?计算中采用的颗粒密度为 $1.8 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

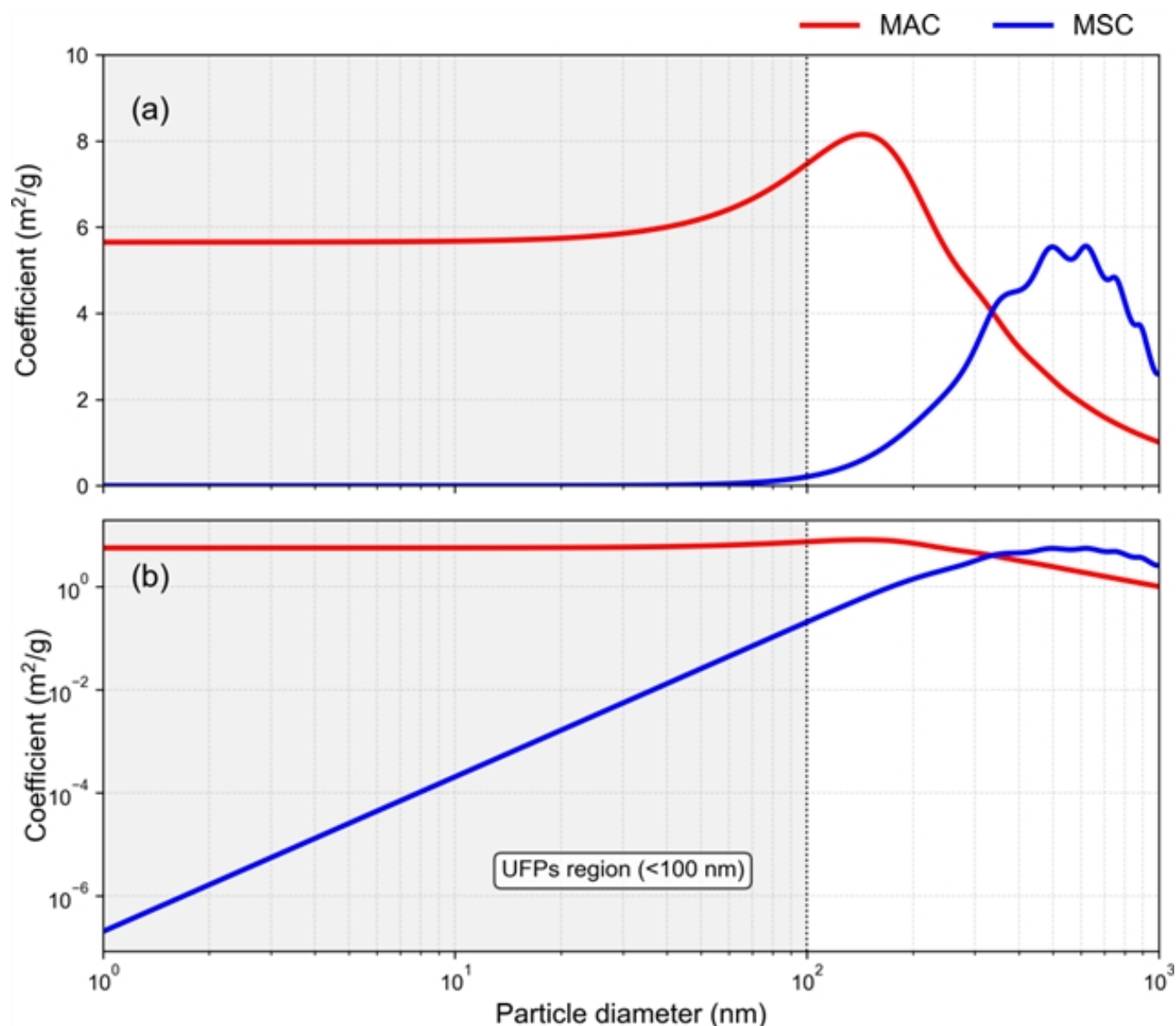


图3. (a) 根据Mie理论在550 nm下得出的质量吸收系数 (MAC) 和质量散射系数 (MSC) 相对于粒径的变化。计算假设为密度为 1.8 g/cm^3 的均匀球形颗粒。MAC通过设定折射率为 $1.95 + 0.96i$ (类黑碳吸收性颗粒) 推导得出, 而MSC计算则采用 $1.50 + 0i$ (非吸收性材料) 的值。 (b) 沿用 (a) 的设定, Y轴采用对数刻度以凸显粒径相关的变化。

多尺度协同打通观测与建模链路

研究团队整合现有研究成果, 提出了适配监测装备研发与气候模型迭代的完整技术路径。

观测层面, 应整合地面站点、机载平台和新型原位探测技术, 重点填补UFPs化学组分直接测量的空白, 并在燃烧排放密集区和NPF频发区域加密观测。

模拟层面, 需将外场实验和实验室机理研究成果转化为地球系统模型可稳定运行的参数化方案, 推动有效辐射强迫估算从宽区间向概率约束转变。

此外，该领域横跨气候、空气质量与公共卫生学科，需建立跨学科协作机制，整合多领域结论。三向协同推进，是系统降低不确定性的关键路径。

降低UFPs气候效应的不确定性

准确量化UFPs的辐射强迫，特别是NPF对CCN的贡献，对于约束气候模型敏感度、评估人为活动引起的有效辐射强迫具有核心作用。若无法精确区分工业化前与当代大气中UFPs成核行为的差异，人为辐射强迫估算将出现较大偏差。该方向的研究有助于将UFPs从气候方程中的不确定项逐步转变为可量化因子，为差异化的排放管控措施和减排策略评估提供科学依据，推动气溶胶-云相互作用辐射强迫估算从宽区间向概率约束转变，为气候治理决策提供更坚实的科学支撑。

（来源：EngineeringJournals微信公众号）

相关论文信息：<https://journal.hep.com.cn/fese/EN/10.1007/s11783-026-2177-x>

作者：王建栋等 来源：《工程·环境》

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