

超越 4.2 ka 事件：欧亚—北非晚全新世气候转型与早期社会多路径重组

韩立堃¹，刘梦宇¹，杨海军¹

¹复旦大学大气与海洋科学系，复旦大学极地海冰气系统与天气气候教育部重点实验室，上海，200438

本文受国家自然科学基金项目（42230403，42288101）资助

摘要：

约 4.2 ka BP 气候异常长期被视为导致欧亚早期文明衰落的全球性气候事件。然而，近年来研究显示，其时间尺度、空间一致性及社会影响仍存在显著争议。本研究整合欧亚大陆及北非 158 个古气候点位的 276 条代用指标、两套全新世古气候数据同化产品，以及 151 处考古地点的 244 条文化阶段记录，在 5–3 ka BP 统一框架下区分短期气候异常与多百年气候转型。结果表明，4.3–3.9 ka BP 期间虽然存在多个区域性异常，但其干湿响应方向并不一致，未形成欧亚大陆尺度同步气候冲击。相比之下，4.1–3.6 ka BP 表现出更广泛的气候状态调整，并与多个区域文化阶段转换在时间上重叠。然而，负二项模型显示，气候—文化关联受到时间尺度、模型结构和区域差异显著影响，不支持单一气候因素驱动普遍社会崩溃。综合来看，所谓“4.2 ka 事件”更适合被理解为短期区域异常叠加于长期气候转型之上的“事件—转型复合体”，其社会影响取决于不同区域生态条件、生业模式、制度结构和适应能力。本研究为重新认识晚全新世气候变化与人类社会演变之间的复杂关系提供了新的多尺度框架。

关键词：4.2 ka 事件；气候转型；古气候数据同化；欧亚早期社会；文化重组；气候—社会关系

1 引言

a. 从区域气候异常到“4.2 ka 事件”（为什么 4.2 ka 重要）

全新世通常被认为是末次冰期结束后相对稳定的气候阶段，但海洋沉积物、冰芯、湖泊沉积、洞穴石笋以及树轮等高分辨率记录表明，全新世气候系统仍存在显著的年代际至千年尺度波动（Bond et al., 1997; Mayewski et al., 2004; Marcott et al., 2013; Liu et al., 2014; Marsicek et al., 2018）。这些低频气候变化不仅反映了自然气候系统内部动力过程，也可能通过改变水资源、生物生产力和生态环境，对人类社会产生长期影响。

在众多全新世气候异常中，约 4.2 ka BP 前后的气候变化受到最广泛关注。该时期大致对应公元前第三千纪末至第二千纪初，在西亚、南亚、东亚以及地中海—北非等地区均发现了环境变化与社会转型的时间重叠。例如，北部美索不达米亚地区的沉积和考古证据曾将约公元前 2200 年的干旱与阿卡德帝国衰落联系起来（Weiss et al., 1993），随后阿曼湾深海沉积物记录到的风尘增强进一步支持了西亚干旱增加的解释（Cullen et al., 2000）。类似的气候—社会联系也被用于解释印度河城市体系转型、中国新石器文化变化以及地中海区域社会调整（Staubwasser et al., 2003; Dixit et al., 2014; Zhang et al., 2021; Peeters et al., 2024）。

由于多个区域记录和历史事件在年代上存在一定重叠，4.2 ka BP 逐渐从一个区域性气候异常演变为具有全球意义的“4.2 ka 事件”概念。2018 年，国际地层委员会和国际地质科学联合会进一步批准以印度东北部 Mawmluh 洞穴石笋记录为全球界线层型剖面，将 4250 yr b2k 确定为梅加拉亚期（Meghalayan Age/Stage）的底界（Walker et al., 2018）。然而，地层界线的确定主要基于年代标志层的可识别性，并不意味着该时期存在一个全球同步、方向一致且由单一机制驱动的气候灾变。

因此，4.2 ka 研究的核心问题已经逐渐从“是否存在异常”转向“这些异常是否具有共同的时间结构、空间范围和动力机制”。回答这一问题，需要超越单个区域案例，重新审视不同时间尺度气候变化之间的关系。

b. 时间尺度与空间一致性问题：短期异常还是长期气候转型（为什么“单一 4.2 ka 事件”存在问题）

围绕 4.2 ka 事件的主要争议首先来自其时间尺度的不确定性。不同研究所采用的定义窗口从约 4.2–4.0 ka BP 扩展至 4.4–3.8 ka BP，所识别的气候变化也包括持续数十年的异常脉