
曾经“毫无意义”的冰期记录，搁置十多年厘清气候机制

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/41984.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！

曾经“毫无意义”的冰期记录，搁置十多年厘清气候机制。2011年，为补齐学界对西风带上游中亚地区的认知短板，蔡演军从西安出发，只身前往乌兹别克斯坦北部洞穴采集石笋样品。可他将样品拿到实验室测试分析后却发现，这批石笋的氧同位素记录对于其记录时段北半球发生的DO事件（Dansgaard-Oeschger快速变暖事件）没有明显响应，这一结果让他大失所望。他只能暂时把这批看似没有价值的样品存放起来，等待合适的契机。

2026年，已是西安交通大学人居环境与建筑工程学院教授的蔡演军，历时十余年积累，基于重新采集和测试分析的石笋样品，团队建立起了跨越过去约4.7万年的中亚干旱区精确测年、高分辨率石笋氧同位素记录，厘清了不同气候背景下，西风带变化对区域水汽来源和输送路径的调控机制。

这项研究不仅解决了中亚地区古气候记录之间的矛盾，也为研判未来水资源安全提供了科学依据。相关成果近日发表于《美国科学院院刊》。



2011年，蔡演军（右二）和国际团队在乌兹别克斯坦采样期间合影。受访者供图

样品先放一放

2011年，国际学界对东亚季风相关研究已经不断深入，但西风带上游的中亚地区依旧存在不少研究空白。当时学界着重讨论东亚地区季风与西风的相互作用，但西风带本身如何演变，始终缺少关键证据，蔡演军便把研究目光投向中亚。

蔡演军介绍，中亚地处欧亚大陆腹地，是全球典型的干旱—半干旱区，区域社会发展和生态安全高度依赖有限的水资源。受喜马拉雅、帕米尔高原、兴都库什山和天山等高大地形阻挡，印度洋水汽难以大规模进入中亚，区域降水水汽主要依靠西风环流输送。来自北大西洋、黑海、里海、地中海及西亚等不同源区的水汽可沿多条路径进入中亚，且其相对贡献会随西风带位置和强度的变化而发生调整。

长期以来，不同地质记录对中亚过去湿度变化的趋势及其驱动机制存在不同认识，特别是中亚降水如何响应北方温带环流与南方副热带环流的变化，以及西风带调整如何重组区域水汽来源，仍缺乏长时间尺度、高精度记录的约束。蔡演军解释道。

他借助旅行社安排，前往乌兹别克斯坦塔什干北部一个区域的两个洞穴采样。蔡演军还记得，其中一个洞穴是通过当地居民介绍获知的，等到实地才看到，洞口被砾石掩埋，经过挖掘并搬开一块石头后才露出一条长约3米仅供一人爬行通过的洞口。洞穴勘探完成后，出洞时一同前往的德国学者因为体型偏大卡在洞口，费了很大力气才钻出来。



2011年蔡演军（右一）和国际合作者在乌兹别克斯坦采样。受访者供图

去之前我们对这两个洞穴了解很少，采样时根本不知道样品属于哪个年代，在实验室通过铀系测年后发现这批样品属于末次冰期。蔡演军说。带回的石笋数据显示，样品几乎记录不到 DO 快速暖事件的信号。

当时心里凉了半截。他把这批数据搁置下来，如果只是发表一条石笋记录曲线，说不清楚背后的科学问题，没有太大意义，只能先放着，等待机会。

移动的屏障

转机出现在2019年。第二次青藏高原综合科学考察将中亚纳入周边研究范围，再加上一带一路倡议下国际合作不断推进，蔡演军带领团队再次前往乌兹别克斯坦。

巧合的是，西安交通大学教授程海团队此前发表的乌兹别克斯坦南部石笋记录，和蔡演军所获得的北部序列变化趋势完全相反。这次我们采到包含全新世的完整样品，再加上南北区域数据可以开展对比研究，研究逻辑才站得住脚。蔡演军说。



2019年蔡演军（桔色衣服）和国际团队在乌兹别克斯坦北部洞穴采样。受访者供图

同一个国家，南北两地的古气候信号却截然相反。这组对比给了蔡演军重要启发：乌兹别克斯坦恰好处在副热带与温带气候的交界带上。这让我对这项研究更感兴趣，也成为理解西风南北摆动机制的突破口。为此，团队大胆推测，初步分析得出，在末次冰期较冷的气候背景下，中亚南部更多受副热带系统影响，水汽同位素与其南部的源区关系密切；北部受温带气候主导，同位素信号更多响应北方源区的水汽变化。

随后，团队通过气候模拟分析验证了这个想法。结果显示，西风带不是固定不动的，可以把它理解成一堵会移动的屏障，会随着气候冷暖发生南北摆动。屏障向北移动，南方水汽更容易输送过来；屏障向南移动，北方水汽的贡献就会占上风。

冰期石笋为何对DO快速变暖事件反应微弱？蔡演军给出两种解释：冰期大冰盖的存在可能使得中亚地区大气环流相对稳定，中亚处在温度响应的关键过渡位置，模拟结果显示DO事件的温度波动到这里被削弱，不足以留下明显记录；另外，降水季节变化和温度的同位素效应相互抵消，也会抹平相关信号。

我们关注的不只是降水变多还是变少，更要看降水的水汽来自哪里。蔡演军以咸海、里海的变化举例，咸海大面积萎缩，里海水位下降，就会导致北方水汽供给在减少。如果未来南方水汽占比上升，中亚低海拔地带冬季降水会增多，但如果春季降水减少，春季土壤储水将随之下降，当地农业就要随之调整播种安排。他表示，中亚水文环境的改变，不只是降水量增减，本质是水汽来源与输送路径发生重组。

过去黄土、湖泊等古气候记录，经常在中亚南北区域得出相互矛盾的结论。这项研究解释了这种空间差异，相距不远的地点，可能归属于完全不同的气候系统。

敢在复杂区域做研究

基于团队的研究和模式模拟分析得出，未来全球变暖情形下，中亚区域水汽来源有可能更多由南方供给。当水汽更多来自南方时，降水的季节特征也会随之改变。受北方水汽主导时，当地以春季降水为主；一旦南方水汽贡献增强，则会转变为以冬季降水为主。降水季节格局一旦发生改变，区域水资源条件也会发生根本性变化。

蔡演军解释道，如果降水集中在春季，春季紧邻夏季，蒸发损耗相对较低，到夏季植被生长季，能够留存更多水分，对植被更为有利。但倘若降水以冬季为主，之后还要经过偏干旱的春季，水资源的年内分配模式就会完全改变，对区域生态安全也会产生截然不同的影响。这些分析结果对当地的农业生产有着实际的指导意义。蔡演军表示。

后续团队将通过系列工作完善整体研究体系，在已明晰乌兹别克斯坦南北部变化特征的基础上，聚焦处于过渡带、信号存在频繁摆动特征的中部地区，依托已采集的样品开展实验分析，探究中部区域的响应规律，以此验证前期研究结论。同时持续推进上游区域的相关研究，补充完善现有研究框架。

审稿人曾评价：在这么复杂的区域开展研究，很具有挑战性。蔡演军说，这句话他一直记得，也道出了团队早期研究的艰难。

从一度被视作毫无用处，到补上西风带研究的关键缺口，十余年的坚持，让当年那次冒险有了结果。蔡演军告诉《中国科学报》，地球科学做不了快餐式研究，初看得到的认识，和反复思考推

演之后的结论往往大不一样。做基础研究就要坐得住冷板凳，研究上的突破，经常来自长期积累之后形成的深度理解。（来源：中国科学报 李媛）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1073/pnas.2537342123>

作者：蔡演军等 来源：《美国科学院院刊》

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